

Utilização agrícola de produtos e sub-produtos resultantes da aquacultura e da vermicompostagem

João Filipe Faria Menezes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Professor Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos

Coorientador: Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Júri:

Presidente: Doutora Cristina Maria Moniz Simões de Oliveira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor João Paulo Baptista Carneiro, Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Castelo Branco

AGRADECIMENTOS

Esta foi uma tarefa a que me propus, imbuído dum enorme caudal de esperança, resultante de uma multiplicidade de experiências que a vida me foi proporcionando e duma vontade de satisfazer o, enfim encontrado, desiderato de vida, para o que tive a felicidade de contar com o contributo de muitos que, particularmente, me tocam e a quem aqui agradeço do fundo do coração.

Ao Professor Catedrático Engenheiro Ernesto Vasconcelos, Docente Aposentado do Instituto Superior de Agronomia, pelo seu firme e concreto apoio e cuja orientação ajudou a conduzir a bom porto este desafio, para tal contando com a sua postura ética, dedicação, profissionalismo e saber científico. Mais do que um orientador, revelou-se um verdadeiro mestre. Ao Professor, a minha amizade e um eterno agradecimento e um, sentido, bem-haja.

Ao Professor Auxiliar Engenheiro Henrique Ribeiro, docente do Instituto Superior de Agronomia, por ter aceite a co-orientação deste trabalho, pelas suas ideias e sugestões, pela disponibilidade demonstrada e interessada participação, assim como, o apoio em todas as análises laboratoriais, cuja ausência determinaria a inexistência de conclusões neste trabalho.

À Professorada Catedrática Aposentada Engenheira Fernanda Cabral pela revisão do texto.

À Professora Catedrática Maria José Cerejeira pela cedência dos tanques utilizados para a unidade de aquacultura.

À Professora Doutora Ana Luísa Soares, vice-presidente do ISA, pelo apoio demonstrado, cedência da estufa para instalação do ensaio e autorização para utilização da palha para o estudo.

Aos meus pais, pois sem eles esta etapa da minha vida não teria sido possível. Muito mais do que o apoio financeiro, a vossa ajuda emocional, as palavras sábias e ponderadas, e o entusiasmo a mim transmitidos serviram de estrela guia na perseguição deste objetivo.

À minha Avó Judite, Avô Décio, e Tio Carlos pelo conforto e força das suas palavras, todo o seu apoio emotivo tornou esta caminhada mais pacífica e serena, o vosso reconhecimento é para mim o culminar de todo este esforço.

Aos meus irmãos, Jorge, Luís e Diogo pelo vosso entusiasmo, curiosidade, alegria e ajuda na montagem e acompanhamento dos ensaios.

À minha namorada, Carolina, pelo seu amor e dedicação, que sempre me acompanhou em todos os momentos deste projeto, ajudou nas horas difíceis e nunca hesitou em apoiar-me a cada pedra do caminho. Pela sua compreensão nas minhas ausências e pelas horas que nos privamos de partilhar.

Aos meus amigos, João Pedro Carvalho, Diogo Andrade e Luís Cordeiro, que estiveram sempre comigo desde os primeiros passos deste projeto, ajudaram na recuperação da estufa cedida, e nunca hesitaram em intervir a ajudar em todos os momentos deste longo percurso. A eles a minha eterna amizade.

Ao Rui Nunes, colega de curso, que me falou pela primeira vez mais aprofundadamente o conceito de aquaponia.

À Eng.^a Anabela Matos, responsável pela Equipa de Jardinagem do Instituto Superior de Agronomia por ter sido a pessoa a indicar a estufa que mais tarde seria utilizada para montar as unidades de produção.

Ao Horto de Química Agrícola, ao seu responsável, Professor Ernesto Vasconcelos, e ao auxiliar Felício, pela disponibilidade do local, assim como os meios, e toda a ajuda e confiança colocada em mim.

Ao Mestre Miguel Martins, responsável do laboratório de Química Agrícola, que ajudou e efetuou as análises necessárias ao estudo do ensaio.

Ao Rui Matias, funcionário do Viveiro de Florestal do I.S.A., a amizade, ajuda incondicional na montagem de todo o ensaio, disponibilização de meios e apoio.

À equipa dos Serviços de Ação Social da U. Lisboa (S.A.S.) liderada pela D. Fernanda, que disponibilizaram os restos de hortícolas da elaboração das refeições para ser dado como complemento alimentar aos animais.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a viabilidade de substituir parte ou toda a adubação mineral de uma cultura de alface pela utilização da água de renovação da cultura de peixes, mistura desta água com extrato de vermicomposto ou pela aplicação conjunta de vermicomposto e água de renovação.

Para o efeito, além de se ter montado de raiz unidades de aquacultura, vermicompostagem e produção pecuária, efetuou-se um ensaio de vegetação em vasos com a cultura de alface com 5 modalidades onde progressivamente substituiu-se a adubação mineral pela aplicação dos produtos referidos.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização da água de regeneração dos peixes é uma boa alternativa para substituir a adubação azotada mineral de cobertura, e que parte ou a totalidade da adubação azotada de fundo desta cultura pode ser substituída pela utilização de vermicomposto sem diminuição das produções.

A solução nutritiva composta pela mistura da água de regeneração dos peixes com o extrato de vermicomposto pode substituir totalmente a adubação azotada e potássica da cultura da alface.

PALAVRAS-CHAVE: aquacultura, vermicompostagem, extrato de vermicomposto, aquaponia, alface.

ABSTRACT

The main objective of the present Master thesis was to estimate the potential replacement of mineral fertilization in lettuce production by application of: 1) wastewater from aquaculture; 2) a mixture of wastewater from aquaculture with vermicompost leachates; and 3) wastewater from aquaculture + vermicompost.

To achieve our objectives, three pilot-scale production units were built: an aquaculture unit, a vermicomposting unit and a poultry and rabbit production unit. A pot experiment with lettuce crop was then run to compare the agronomic value of wastewater from aquaculture; a mixture of wastewater from aquaculture with vermicompost leachates and a combined application of wastewater from aquaculture + vermicompost.

The results obtained here showed that application of wastewater from aquaculture is a good alternative to replace the mineral nitrogen topdressing of lettuce while application of vermicompost is a good alternative to initial mineral nitrogen applications. Application of the mixture of wastewater from aquaculture with vermicompost leachates can fully supply the nitrogen and potassium requirements of lettuce crop.

EXTENDED ABSTRACT

Good agricultural practices are of extreme importance to support a sustainable development of world population. More food production of higher quality and respecting the environment is fundamental for the sustainability of our planet.

It is therefore needed to face food production as an holistic system where the reuse of sub-products from animal production can be seen as an opportunity to recycle nutrients needed for plant production.

The wastewater from fish production in aquaculture is rich in nitrogen and an excellent alternative to mineral fertilizers since it contains not only high amounts of nitrate but also phosphorous and several microorganisms that might be beneficial for soil quality.

On the other hand, wastes from animal production units can be converted into a stable organic material through vermicomposting. The resulting product is rich in micro and macro nutrients, organic matter and microbial biomass. Furthermore, its application to soil also introduces earthworms that are of high relevance for the soil ecosystem.

In the present work, we studied the potential replacement of mineral fertilization in lettuce production by application of: 1) wastewater from aquaculture; 2) a mixture of wastewater from aquaculture with vermicompost leachates; and 3) wastewater from aquaculture + vermicompost.

A pot experiment was established with 5 treatments:

A - NK (mineral fertilizer);

B - NK (initial N application by application of wastewater));

C - NK (Initial N and K application partially replaced by vermicompost)

D - NK (N (fully) and K (partially) application replaced by vermicompost));

E - Mineral fertilization replaced by a mixture (95:5 – v/v) of wastewater and vermicompost leachate.

The results obtained here showed that the reuse of wastewater from aquaculture is a good alternative to replace mineral nitrogen fertilizers for topdressing in lettuce production since it led to similar or higher yields.

It can also be concluded that the nitrogen fertilization performed before sowing can be fully or partially replaced by vermicompost application with no decrease of yields.

We also observed that the nitrogen and potassium supply to lettuce crop can be fully guaranteed by using a mixture of wastewater from aquaculture and vermicompost leachate. Furthermore, this mixture is rich in other nutrients such as calcium, magnesium or phosphorous and also contains some micronutrients.

Finally, it can be concluded that the formulation of a proper nutritive solution using the sub products considered here still requires major improvements and studies; one of the main limitations to be overpassed will be surely the high sodium concentration existing in the final solution that might have a negative impact in the long term.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	1
RESUMO	3
ABSTRACT.....	4
EXTENDED ABSTRACT.....	5
ÍNDICE	7
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Vermitecnologia	4
2.1.1. Vermicultura.....	6
2.1.1.1. Minhocas.....	6
2.1.1.1.1. Categoria ecológica	7
2.1.1.1.2. Composição química.....	8
2.1.1.1.3. Temperatura.....	9
2.1.1.1.4. Humidade	9
2.1.1.1.5. pH	9
2.1.1.1.6. Oxigenação	10
2.1.2. Vermicompostagem.....	10
2.1.3. Vermicomposto.....	12
2.1.3.1. Matérias-primas	13
2.1.3.2. pH.....	14
2.1.3.3. Matéria Orgânica	14
2.1.3.4. Húmus	14
2.1.3.5. Hormonas vegetais	15
2.1.4. Produtos e subprodutos resultantes da vermicompostagem	16

2.1.4.1.	Excrementos de minhoca	16
2.1.4.2.	Vermicomposto	17
2.1.4.3.	Lixiviado de vermicomposto	18
2.2.	Aquacultura	19
2.2.1.	Sistemas de produção.....	20
2.2.1.1.	Sistemas abertos e gaiolas.....	20
2.2.1.2.	Sistemas semifechados e lagos	21
2.2.1.3.	Sistemas Integrados	22
2.2.1.4.	Sistemas fechados.....	23
2.2.2.	Fundamentos de alimentação em Aquacultura	25
2.2.3.	Tilápia	26
2.2.3.1.	Origem.....	26
2.2.3.2.	Habitat.....	27
2.2.3.3.	Biologia	27
2.2.3.4.	Densidades de Produção	29
2.2.3.5.	Alimentação	29
2.2.3.6.	Criação de juvenis	31
2.2.3.7.	Doenças	32
2.2.3.8.	Resistência às doenças.....	33
2.2.4.	Aquaponia.....	34
2.2.4.1.	O Processo	35
2.2.4.2.	Filtragem	36
2.2.4.3.	Ciclo do Azoto.....	36
2.2.4.4.	Oxigenação.....	38
2.2.5.	Casos de estudo.....	39
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1.	Estruturas.....	41
3.1.1.	Unidade de produção do Vermicomposto.....	43
3.1.1.1.	Produtos obtidos	44

3.1.2.	Unidade de pré-compostagem.....	45
3.1.2.1.	Matéria-prima para a alimentação animal.....	48
3.1.3.	Unidade de produção de aquacultura.....	50
3.2.	Ensaio de vegetação em vasos.....	53
3.2.1.	Análise da parte aérea das plantas.....	57
3.2.2.	Análise dos solos.....	57
3.2.3.	Análise do vermicomposto	58
3.2.4.	Análise da água do furo e da água de regeneração dos peixes.....	59
3.2.5.	Análise estatística.....	59
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1.	Teores de azoto nítrico e azoto amoniacal presentes na água dos peixes	60
4.2.	Vermicomposto e extrato de vermicomposto.....	62
4.3.	Solução composta por extrato de vermicomposto e água de regeneração dos peixes (5/95% v/v)	63
4.4.	Ensaio de vegetação em vasos.....	65
5.	CONCLUSÕES	69
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	71
6.1.	Aquacultura.....	71
6.2.	Vermicompostagem.....	71
6.3.	Aquaponia.....	72
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXOS.....	1

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre as espécies <i>Eisenia fedita</i> e <i>Perionyz excavatus</i>	8
Quadro 2 - Principais diferenças entre a Vermicompostagem e a Vermicultura	11
Quadro 3 - Algumas características de vermicompostos consoante a sua origem.....	13
Quadro 4 - Algumas características de um vermicomposto obtido através de chorume e estrume de suínos	13
Quadro 5 - Algumas diferenças na composição de um vermicomposto e lixiviado de vermicomposto	18
Quadro 6 - Comparação entre as 3 principais espécies de tilápia.....	26
Quadro 7 - Relação de alimento ao dia por peso do peixe.	30
Quadro 8 – Fatores que levam o peixe ao estado de stresse.....	33
Quadro 9 - Valores ótimos desenvolvimento bactérias nitrificadoras	37
Quadro 10 - Composição da água de abastecimento e da água residual dos peixes	52
Quadro 11 - Principais características do solo utilizado no ensaio.....	53
Quadro 12 - Composição do vermicomposto (material original)	55
Quadro 13 - Composição do extrato de vermicomposto.....	55
Quadro 14 - Registo da temperatura no Horto de Química Agrícola (ISA).....	56
Quadro 15 - Evolução dos níveis de azoto nítrico e amoniacal no tanque dos peixes	60
Quadro 16 - Composição da solução composta por extrato de vermicomposto e água de regeneração dos peixes e de uma solução nutritiva tipo	63
Quadro 17 - Produção das alfaces (g/vaso) obtidas no ensaio de vegetação	65
Quadro 18 - Extrações Médias de Macro e Micronutrientes resultantes do ensaio	66
Quadro 19 - Análise final solo após ensaio	68
Quadro 20 - Teores de macro e micro nutrientes na parte aérea das plantas de alface (matéria seca).....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do processo de obtenção da solução de fertirrega para uma cultura	3
Figura 2 - Minhocas utilizadas na preparação do ensaio (<i>Eisenia fedita</i>)	6
Figura 3 - Representação do processo de vermicompostagem.....	17
Figura 4 - Exemplo de um sistema em gaiola	21
Figura 5 - Exemplo de um sistema semifechado.....	22
Figura 6 - Exemplo de experimentação de um sistema integrado no Quénia.....	23
Figura 7 – Sistemas de aquacultura superintensivo.....	24
Figura 8 - Foto do ensaio: tanque de recria, os machos (a preto) e as fêmeas (mais claras, no centro).....	28
Figura 9 - Fêmea de tilápia incubando os ovos. Adaptado de FAO (2012).....	28
Figura 10 - Foto do ensaio: juvenis com 1 semana.....	31
Figura 11 - Foto do ensaio: juvenis com 2 semanas.....	31
Figura 12 - Foto do ensaio: juvenis com 4 semanas.....	31
Figura 13 - Foto do ensaio: juvenis com 8 semanas no tanque principal.....	31
Figura 14 - Exemplo de uma pequena instalação de um sistema aquapónico	35
Figura 15 -Ilustração da evolução do ciclo do azoto desde a instalação de um novo sistema.	38
Figura 16 - Estufa cedida para efeitos do ensaio	41
Figura 17 - Interior da estufa com as diferentes unidades montadas	42
Figura 18 - Sistema de vermicompostagem utilizado.....	43
Figura 19 - Vermicomposto e extrato obtidos.....	44
Figura 20 - Diferença entre a palha em fardo e os resíduos das camas dos coelhos e galinhas retirados 1 mês depois, respetivamente.	45
Figura 21 - Unidade de processamento da fase termófila dos resíduos da produção animal	46

Figura 22 a) e b) - Foto dos ensaios: Vermicompostagem – diferença em 48 h no material fresco adicionado	47
Figura 23 - Unidade de Produção dos Galináceos.....	48
Figura 24 - Unidade de produção de coelhos.....	49
Figura 25 - Alfaces no 2ºdia de ensaio	55
Figura 26 - Um exemplar de cada modalidade colocados em fila para comparação, no dia do final do ensaio (Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo).....	56
Figura 27 - Alfaces no dia do corte: 11 Julho de 2014	56
Figura 28 - Correlação entre a leitura da condutividade elétrica (CE) e concentração de azoto nítrico (mg/L).....	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

C/N – Relação Carbono/Azoto

EAA – Espectrofotometria de absorção atômica

EAM – Espectrofotometria de absorção molecular VIS/UV – visível/ultravioleta

C.E. – Condutividade Elétrica (mS/cm)

FAO – Food and Agriculture Organization: www.fao.org

M.O. – Matéria Orgânica

O.D. – Oxigénio Dissolvido

IV – Infravermelho

ISA – Instituto Superior de Agronomia

1. INTRODUÇÃO

Devido ao rápido e já esperado crescimento da população mundial, os dados da FAO indicam que atingiremos 9,2 mil milhões de pessoas em 2050. Torna-se assim imperativo orientar a produção agropecuária para as boas práticas agrícolas, com vista à sua sustentabilidade a longo prazo. Torna-se igualmente necessário o fomento da biodiversidade, numa tentativa de recuperar dos danos já causados, quer local quer globalmente.

Os resíduos orgânicos agrícolas representam uma grande parte dos resíduos orgânicos em geral. Muitas vezes são queimados para evitar o desenvolvimento de colónias de microrganismos prejudiciais à sua atividade bem como para reduzir drasticamente o volume acumulado.

A compostagem é um excelente método de conversão destes resíduos em produtos com elevado interesse agrícola, que quando levado a cabo corretamente, permite obter com relativa facilidade um corretivo orgânico (composto) para aplicação aos solos, com todos os efeitos benéficos daí decorrentes quer numa perspetiva química, física quer biológica. No entanto, o desenvolvimento desta atividade está muitas vezes condicionado devido às exigências do próprio processo, à necessidade de algum *know-how* para obter um produto de qualidade, bem como à dificuldade de obtenção de matéria-prima em quantidade e qualidade que satisfaçam as exigências regulamentares e de mercado.

No tratamento de resíduos orgânicos, quer de explorações agropecuárias, quer de produção doméstica, a vermicompostagem é um método capaz de lidar com maior quantidade de resíduos, num período de tempo mais curto, resultando numa matéria humificada mais estável (i.e., em baixo estado de evolução biológica) (Dominguez e Edwards, 2011a).

Segundo Jones (2012), o conceito de produção agrícola orgânica tem as suas raízes numa teoria estabelecida por Aristóteles na antiguidade (Santos, 2015) apelidada de Teoria do Húmus, que foi uma das teorias que os investigadores estudaram e desenvolveram na década de 1880 como possíveis explicações para a questão “como crescem as plantas”. Em experiências anteriores de campo, tinha sido observado que as culturas instaladas em campos tratados com resíduos orgânicos cresciam melhor do que aquelas que recebiam várias substâncias inorgânicas.

A aplicação de materiais orgânicos, como por exemplo resíduos compostados, pode melhorar as propriedades físicas do solo, aumentando a capacidade de retenção hídrica, melhorando a estrutura do solo e consequentemente o manejo deste, e aumentando o grau de arejamento, propriedades estas que contribuem para a melhoria da capacidade fértil do solo. O papel das minhocas na formação do solo e sua fertilidade está bem reconhecido e documentado (Ansari, 2012).

As explorações de aquacultura são muitas vezes poluentes dos ecossistemas circundantes devido às descargas de águas residuais ricas em azoto provenientes da regeneração das águas dos tanques. Como alternativa à descarga descontrolada destas águas podem eventualmente ser utilizadas em fertirrega para a produção de culturas (Jaap van Rijn, 1996).

Os sistemas de recirculação em aquacultura proporcionam uma oportunidade de reduzir o desperdício de água com vista à produção intensiva sustentável de peixes, e são uma promissora tecnologia quando integrados com produção de plantas em hidroponia (Martins *et al.* 2010).

A água dos peixes, rica em nutrientes é utilizada para o crescimento das plantas, enquanto estas são utilizadas como biofiltros para a recuperação da qualidade da água para os peixes. Os principais elementos em recirculação são os nitratos e o potássio (Endut *et al.* 2010).

Por outro lado o vermicomposto pode ser utilizado diretamente como corretivo orgânico dos solos ou a partir dele obter soluções (chá ou extratos) ricas em vários nutrientes que poderão enriquecer a água de renovação proveniente dos tanques de criação de peixes (Bernstein, 2011).

O principal objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a viabilidade de substituir parte ou toda a adubação mineral de uma cultura de alface pela utilização da água de renovação da cultura de peixes, mistura desta água com extrato de vermicomposto ou pela aplicação conjunta de vermicomposto e água de renovação.

Para este fim utilizou-se uma estufa do ISA localizada junto da antiga MEAU, onde se instalou de raiz uma unidade de produção de peixes em tanque, uma unidade de produção de vermicomposto, e uma unidade de produção pecuária e pré-compostagem, para fornecer matéria-prima à vermicompostagem.

Para além disso, realizou-se um ensaio de vegetação no Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo (ISA) em vasos com a cultura de alface (*Lactuca sativa*, L. var. crispa) em que se compararam cinco diferentes tratamentos:

- 1- Adubação mineral;
- 2- Adubação mineral (em que o N de cobertura é proveniente da aplicação da água dos peixes);
- 3- Igual à anterior mas em que parte da adubação de fundo NK foi substituída pela aplicação de vermicomposto;
- 4- Igual à anterior mas em que toda a adubação azotada de fundo e parte da potássica foi substituída pela aplicação de vermicomposto;
- 5- Toda a adubação quer de fundo quer de cobertura foi fornecida através de uma mistura de água dos peixes e extrato de vermicomposto (95/5 v/v).



Figura 1 - Representação do processo de obtenção da solução de fertirrega para uma cultura

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Vermitecnologia

A base de trabalho da Vermitecnologia são as minhocas, pequenos seres que têm cerca de 600 milhões de anos de experiência enquanto “engenheiros dos ecossistemas” (Sinha *et al.* 2010).

Charles Darwin, pai da teoria da evolução, era fascinado pelo mundo das minhocas. Na sua última obra publicada, intitulada *Earthworm*, em Dezembro de 1881, expôs o fascinante mundo das minhocas, e elaborou uma série de estudos que levaram a publicar a teoria da evolução da cobertura orgânica do solo pela ação das minhocas (Darwin, 1896).

Os cientistas dedicados ao estudo da vermicompostagem desde há muito que conhecem o papel que estes seres desempenham na gestão de resíduos, melhoramento do solo e da sua fertilidade, e enquanto promotores do desenvolvimento das plantas (Sinha *et al.* 2010).

Algumas espécies de minhocas, por apresentarem sensibilidade a alterações de uso e manejo do solo, são excelentes bioindicadores ambientais, representando uma importante ferramenta na avaliação de impactos em ecossistemas (Steffen *et al.*, 2013).

Define-se Vermitecnologia como o estudo dos processos, mecanismos e fatores associados às populações de minhocas relativamente às atividades de tratamento, valorização, descontaminação e depuração relacionadas com os resíduos e que resultam na melhoria da qualidade dos ecossistemas terrestres (Lourenço, 2014).

O mesmo autor define vermicompostagem como o processo de tratamento controlado (incluindo a sua redução em peso e volume) da fração orgânica dos resíduos, com recurso a determinadas espécies de minhocas, que reduz o seu grau poluente e contaminante, produzindo-se ao mesmo tempo fatores de produção orgânicos, tais como vermicomposto e lixiviado.

Dominguez e Edwards (2011a) afirmaram que a compostagem e a vermicompostagem são dois dos melhores e mais estudados processos de estabilização biológica de resíduos sólidos orgânicos.

Por outro lado, a vermicultura é o processo de produção de biomassa de minhocas com recurso ao tratamento em contínuo de resíduos orgânicos.

Nos estudos de Sinha *et al.* (2010) o desenvolvimento da vermicultura define-se como uma tecnologia ambientalmente sustentável (em harmonia com o ambiente: flora, fauna, solo, ar e água, sem qualquer efeito adverso), economicamente viável (acessível a todas as nações) e socialmente aceite (beneficia a sociedade sem qualquer adversidade para a saúde humana).

Segundo Shinha *et al.* (2010), podemos dividir a utilização das minhocas em 5 tecnologias sustentavelmente desenvolvidas (terminologia em Português proposta por Lourenço (2014):

1. **Tecnologia de vermicompostagem:** eficiente reconversão de resíduos orgânicos municipais e industriais através da biodegradação e estabilização, reconvertendo em recursos utilizáveis (por ex. como fertilizantes);
2. **Tecnologia de vermidepuração:** para o tratamento de efluentes municipais e industriais, com o intuito de purificar e desinfetar para a sua reutilização;
3. **Tecnologia de vermirremediação:** para “limpeza” química de solos contaminados, com a mais valia de melhorar as suas características químicas, físicas e biológicas;
4. **Tecnologia de agro-produção:** restaurar e melhorar a fertilidade dos solos para produzir alimentos livres de elementos nocivos (patogénicos, metais pesados, químicos, etc);
5. **Tecnologia de produção industrial de minhoca:** uso das minhocas para produção de compostos bioativos para a indústria farmacêutica, e enquanto matéria-prima valiosa para ser utilizada na indústria de borrachas, lubrificantes, sabão, detergentes e cosméticos; e ainda a utilização da minhoca enquanto alimento altamente proteico na indústria das pescas, vacas leiteiras, e aves domésticas.

2.1.1. Vermicultura

2.1.1.1. Minhocas

São o elemento mais familiar e muitas vezes o mais importante na fauna do solo no que diz respeito ao processo de evolução do solo (Coleman *et al.* 2004). A sua importância cresce com a sua influência na estrutura do solo (por exemplo na agregação e arejamento) e na capacidade de rapidamente decompor a matéria orgânica depositada no solo. Estes seres (Figura 2) correspondem a um dos principais grupos de organismos edáficos atuantes nos processos de movimentação de partículas e ciclagem de nutrientes (Steffen *et al.*, 2013).

Darwin (1896) apresentou provas irrefutáveis da inteligência das minhocas apesar de ter concluído que estes seres são cegos e surdos, e observou a importância das minhocas para a melhoria e manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas.

A minhoca comum (ou minhoca da terra) é um anelídeo macroscópico, pertencente ao Domínio Eukarya, Reino Animalia, Filo Annelida, Classe Clitellata, Subclasse Oligochaeta, Família Lumbricidae (Ruppert *et al.* 2004). São frequentemente agrupadas em função das suas categorias baseadas na morfologia, comportamento, ecologia alimentar e nos seus microhabitats com o solo (Lee, 1985; Lavalley, 1983, citado de Coleman *et al.*, 2004).



Figura 2 - Minhocas utilizadas na preparação do ensaio (*Eisenia fedita*)

2.1.1.1.1. Categoria ecológica

Diferentes espécies de minhocas têm diferentes histórias de vida, ocupando nichos ecológicos diferentes, e têm sido classificadas tendo por base a sua alimentação e movimentação no solo em três categorias ecológicas (Dominguez e Edwards, 2011b) as quais caracterizam o comportamento destes organismos nos ecossistemas. As minhocas são onívoras e alimentam-se de resíduos vegetais em diferentes graus de decomposição, juntamente com organismos decompositores acompanhantes, tais como fungos, bactérias, protozoários e nematoides. Também podem ingerir os seus próprios excrementos, bem como fezes de outros organismos (Steffen *et al.*, 2013).

Agrupam-se de acordo com as seguintes categorias ecológicas (Bouché 1977, citado em Dominguez e Edwards, 2011b):

- Epígeas ou Epígeicas - vivem no horizonte orgânico do solo;
- Anécicas - escavam túneis compridos na vertical para alimentar-se à superfície;
- Endógeicas – habitam os horizontes minerais do solo e alimentam-se de partículas minerais; vivem em profundidade.

Os mesmos autores afirmam que as espécies epígeas apresentam um bom potencial para a vermicompostagem devido à sua natural capacidade para:

- Colonizar resíduos orgânicos;
- Altas taxas de consumo, digestão e assimilação da matéria orgânica;
- Robustez às variações dos fatores ambientais;
- Ciclo de vida curto;
- Altas taxas de reprodução;
- Resistência e tolerância à manipulação.

Duas das espécies epígeas, a vermelha californiana (*Eisenia fedita*) e a violeta-dos-himalaias (*Perionyx excavatus*) (Quadro 1) vivem no horizonte orgânico do solo, perto da camada superficial, e alimentam-se primeiramente da matéria orgânica grosseira depositada. Estes animais ingerem grandes quantidades de resíduos não decompostos e excretam “pellets” fecais orgânicos (Dominguez e Edwards, 2011b).

Quadro 1 - Comparação entre as espécies *Eisenia fedita* e *Perionyz excavatus*
 Fonte: adaptado de Dominguez e Edwards (2011b)

	<i>Eisenia fedita</i>	<i>Perionyz excavatus</i>
Cor	Faixas castanhas e amarelas	Castanho avermelhado
Tamanho em adulto (mm)	4-8 x 50-100	4-5 x 45-70
Peso médio (g)	0,55	0,50-0,60
Tempo p/ maturidade (dias)	28-30	28-42
Numero de ovos por dia	0,35-0,5	1,10-1,40
Período incubação (dias)	18-26	18
Viabilidade ovos (%)	73-80	90
Nº minhocas por ovo	2,5-3,8	1-1,10
Ciclo de vida (dias)	45-51	40-50
Temperatura (°C)	25 (0-35)	25 (9-30)
Humidade (%)	80-8	-

Algumas espécies de minhocas, por apresentarem sensibilidade a alterações de uso e manejo do solo, são excelentes bioindicadoras ambientais, representando uma importante ferramenta para a avaliação de impactos em ecossistemas (Steffen *et al.*, 2013).

2.1.1.1.2. Composição química

Segundo Minnich (1977), a água é o principal constituinte químico da minhoca, variando entre 70 a 95 % do peso do seu corpo. O remanescente 5 a 30 % é essencialmente proteína, formando entre 53 a 72 % do seu peso seco. Ainda em termos de matéria seca, as gorduras estão presentes de 1 a 17 % e a matéria mineral de 9 a 23 %. Estes valores variam essencialmente devido à dieta de cada indivíduo. O autor salienta que, contudo, o mais importante a reter é que estes seres são constituídos essencialmente por proteína (devido à sua robusta constituição muscular).

2.1.1.1.3. Temperatura

A temperatura ideal para o seu desenvolvimento situa-se, segundo Dominguez e Edwards (2011b) entre os 15 a 30°C. Nos mesmos estudos, verificou-se que os ovos de minhoca têm um intervalo mais restrito para o seu normal desenvolvimento, situando-se o valor ótimo a 25 °C.

Edwards e Aracon (2009) estudaram os ciclos de vida e as condições ótimas de sobrevivência e desenvolvimento de cada espécie individualmente, concluindo que de acordo com a espécie de minhoca a temperatura ideal é:

- *Eisenia fedita*: 25 °C, e tolera um diferencial de temperatura entre 0 e 35 °C;
- *Perionyx excavatus*: 25 °C, mas não tolera temperaturas abaixo de 9 °C e acima de 30 °C. Temperaturas superiores ou inferiores a estes limites conduzem à morte dos animais.

A temperatura ótima para o desenvolvimento dos ovos destas espécies é consideravelmente inferior à temperatura ótima de desenvolvimento no estado adulto.

2.1.1.1.4. Humidade

Dominguez e Edwards (2011b), correlacionam diretamente o teor de água dos resíduos orgânicos com a taxa de crescimentos das minhocas, concluindo que o valor ótimo de humidade no substrato se situa entre os 80% a 90%. Nos vários ensaios efetuados por estes autores, estas duas espécies de minhoca suportaram humidades mínimas de 50% e máximas de 90%. O meio nunca deve estar em saturação devido ao risco de asfixia das minhocas.

2.1.1.1.5. pH

As minhocas epígeas são relativamente tolerantes ao pH, podendo suportar variações entre valores de pH 5 a 9, embora segundo Dominguez e Edwards (2011b) quando lhes é dada a possibilidade de escolha para um determinado gradiente de pH, elas se desloquem em direção aos materiais mais ácidos, preferindo o valor de pH 5.0.

2.1.1.1.6. Oxigenação

A inexistência de órgãos respiratórios especializados nas minhocas leva a que estes seres utilizem a parede corporal como difusor de oxigénio e dióxido de carbono. Isto leva a que as minhocas sejam altamente sensíveis a condições de anaerobiose. Ensaio com *E. fétida* efetuados por Edwards e Arancon (2009) relatam situações de altas taxas de migração de ambientes saturados em água, onde o oxigénio tinha sido todo consumido ou onde se acumulou dióxido de carbono e sulfureto de hidrogénio (ácido sulfídrico).

2.1.2. Vermicompostagem

A vermicompostagem envolve a bio-oxidação e estabilização da matéria orgânica pela ação conjunta das minhocas e dos microrganismos. Apesar de serem os microrganismos que produzem enzimas que bioquimicamente degradam a matéria orgânica, as minhocas são os condutores cruciais do processo, arejando, fragmentando e acondicionando o substrato, resultando numa maior área disponível para a colonização por parte dos microrganismos, aumentando drasticamente a atividade microbiana, e ainda ajudam na colonização pois albergam milhões de micróbios decompositores e fixadores de azoto nos seus interstícios (Dominguez e Edwards, 2011a).

Em alguns casos é necessário um processamento prévio dos resíduos orgânicos antes de colocados para vermicompostar devido à presença de substâncias tóxicas para as minhocas, como compostos ácidos, amoníaco e sais. A solução muitas vezes utilizada é uma compostagem termofílica dos resíduos iniciais, que além de higienizar, atenua ou elimina o efeito das substâncias tóxicas. De seguida, a vermicompostagem estabiliza o substrato, diminuindo o tamanho das partículas e aumentando a disponibilidade de nutrientes e adicionalmente, rapidamente inocula o material resultante da fase termofílica da compostagem.

A combinação da compostagem e da vermicompostagem tem sido considerada como um processo para atingir uma melhor estabilização dos substratos (Dominguez e Edwards, 2011a). A compostagem permite a higienização e eliminação de componentes tóxicos e a posterior vermicompostagem reduz o tamanho das partículas e aumenta a

disponibilidade de nutrientes. Adicionalmente, a inoculação do material resultante da fase termofílica da compostagem com minhocas reduz a duração do processo de tratamento.

A vermicompostagem desenvolve-se num estado mesofílico, é um processo aeróbico e acidificante (Lazcano *et al.* 2008) e o resultado é predominantemente devido à ação microbiana. As minhocas, como outros animais do solo, não têm sistema celulolítico suficientemente desenvolvido para digerir material vegetal. Assim, grande parte da sua alimentação está dependente da ação dos microrganismos endo e/ou ectosimbiontes. (Dominguez e Edwards, 2011a).

A principal diferença entre vermicompostagem e vermicultura reside no fim pretendido. Na vermicultura o intuito é a produção de biomassa de minhoca, já na vermicompostagem o objetivo é a obtenção de um composto com elevada estabilidade biológica. O quadro 2 resume as principais diferenças destes dois processos:

Quadro 2 - Principais diferenças entre a Vermicompostagem e a Vermicultura

	Vermicompostagem	Vermicultura
Objetivos	Tratamento de resíduos e produção de vermicomposto	Produção de minhocas e de vermicomposto
Densidades de minhoca	1-16 kg m ⁻²	0,25-1,0 kg m ⁻²
Percentagem de humidade	75-85%	70-75%
Recolha de minhoca	Não existe recolha.	Recolha periódica de minhocas adultas
Proteína no Substrato	Não é fundamental.	O enriquecimento do substrato com materiais de elevado teor proteico é fundamental (origina relações C/N inferiores: de 15/1 a 20/1)
Nutrientes	Vermicomposto menos rico em nutrientes	Vermicomposto mais rico em nutrientes
Tipo de processo	Preferencialmente em contínuo, podendo ser realizado em descontínuo.	Preferencialmente contínuo.

Fonte: Adap. Lourenço (2014)

2.1.3. Vermicomposto

O vermicomposto é o principal produto da vermicompostagem. Da ingestão dos resíduos por parte das minhocas, aproximadamente 60% são expulsos na forma de excrementos. Fora do trato digestivo das minhocas e em estado avançado de decomposição, os dejetos originam o vermicomposto, rico em nutrientes, fauna microbiana, hormonas de crescimento vegetal e enzimas (Lourenço, 2014).

O vermicomposto, também conhecido pela designação de húmus de minhoca, estrume de minhoca e lombricomposto, resulta essencialmente dos dejetos das minhocas. Apresentam excelentes propriedades de corretivos orgânicos, dado que, para além do elevado teor em matéria orgânica (em geral já com um certo grau de humificação), contêm os nutrientes vegetais, macro e micronutrientes, no equilíbrio exigido pela grande maioria dos condicionalismos agro climáticos e culturais (Santos, 2015).

Em substratos ricos em excrementos de minhoca ocorrem altas taxas de mineralização da matéria orgânica o que aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas, particularmente azoto (amoniaco e nítrico), mas também fósforo, potássio, cálcio, e magnésio (Dominguez, 2011). De acordo com o mesmo autor o vermicomposto também contém hormonas de crescimento naturalmente produzidas pelos microrganismos, assim como reguladores de crescimento das plantas.

Como bioinoculante, o vermicomposto aumenta a disponibilidade do azoto e do fósforo através do fomento da fixação biológica do azoto e da solubilização do fósforo (Padmavathiamma, *et al.* 2007).

O vermicomposto, como matéria sólida, não poderá ser aplicado na forma foliar, embora possa ser convertido na forma de subprodutos como, por ex., o extrato ou o chá de vermicomposto, ou ainda, para uma aplicação mais eficaz poderá ser peletizado, sendo esta uma solução que permite uma utilização ainda mais prolongada dos nutrientes por parte da cultura (Lourenço, 2014).

2.1.3.1. Matérias-primas

O vermicomposto varia física, química, e biologicamente consoante o material original utilizado para vermicompostar (Quadros 3 e 4). Deste modo, para atender a determinadas características pretendidas para o vermicomposto, é necessário uma cuidada seleção da matéria-prima.

Torna-se fundamental a adição de resíduos orgânicos com uma equilibrada razão C/N devido ao risco de putrefação para relações baixas, ou lento consumo por parte das minhocas para relações elevadas.

Quadro 3 - Algumas características de vermicompostos consoante a sua origem

Resíduo	pH	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	C/N
Estrume de codornizes	6,00	35,40	0,96	0,34	0,27	0,72	0,02	36,84
Estrume de bovinos	6,40	14,50	1,68	0,32	0,69	0,57	0,38	8,63
Estrume de cavalos	6,30	18,30	1,52	0,85	0,68	1,19	0,96	12,03
Estrume de suínos	7,20	14,70	2,12	6,49	1,76	8,26	0,34	6,93
Estrume de ovinos	9,30	26,90	2,80	1,50	5,04	1,39	0,06	9,60
Borra de café	8,40	31,10	3,00	0,98	1,03	2,83	2,44	10,36
Erva-mate	6,30	19,60	3,30	0,94	0,63	0,74	0,64	5,93

Fonte: Adap. de Souza *et al.* (2006)

Quadro 4 - Algumas características de um vermicomposto obtido através de chorume e estrume de suínos

pH	C.E. (mS/cm)	C org. (%)	N (%)	N-NH ₄ ⁺ (mg/kg)	N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)
5,68	3,22	27,38	2,36	28,8	1001,00	4,50	0,40	8,60	0,50	0,80

Fonte: Adap. de Atiyeh *et al.* (2001)

2.1.3.2. pH

Vários estudos confirmam que o processo de vermicompostagem é acidificante. Esta acidificação é promovida pela mineralização de compostos de azoto e fósforo, a libertação de CO₂ dos ácidos orgânicos do metabolismo microbiano, e a produção de ácidos húmicos e fúlvicos (Lazcano *et al.*, 2008).

Quando aplicado ao solo ou a um substrato, o vermicomposto tende a alterar o pH, e no caso concreto da aplicação a um substrato, essa acidificação é mais evidente (Atiyeh, 2000).

2.1.3.3. Matéria Orgânica

Segundo a definição de Jones (2012), a matéria orgânica presente num solo é a soma de todo o material submetido a alterações biológicas naturais ou térmicas procedente da matéria orgânica encontrada no solo ou na superfície do solo, indiferentemente da sua fonte, quer esteja vivo ou morto, ou qualquer que seja o estado de decomposição.

A presença de matéria orgânica faz com que os adubos orgânicos, em relação aos minerais, tenham a vantagem de veicularem aos solos aquele importante fator da fertilidade. No entanto, é conveniente ter em atenção que esta matéria orgânica, muitas vezes com baixa razão C/N e/ou pouco estabilizada, vai mineralizar-se rapidamente e, sobretudo quando na sua composição não intervenham substâncias vegetais, o contributo para a formação de húmus poderá ser muito reduzido. Mais importante, sobretudo em termos ecológicos, é valorizar o facto do vermicomposto, por apresentar os nutrientes na forma orgânica, fornecer os elementos nutritivos (o azoto, em particular) de forma mais gradual, evitando, ou pelo menos atenuando os fenómenos de salinização secundária dos solos, de poluição das águas e/ou dos produtos alimentares por excesso de nitratos, etc. (Santos, 2015).

2.1.3.4. Húmus

Uma parte da matéria orgânica do solo existe enquanto matéria húmica. De facto, as substâncias húmicas formam o principal constituinte orgânico do solo e representam a forma mais evoluída e estável da matéria orgânica (Queda, 1999). Estes componentes

são caracterizados como sendo amorfos, coloidais, substâncias polidispersas e com uma coloração que vai do amarelo até ao castanho-preto. São substâncias hidrofílicas, acídicas e com elevado peso molecular, variando de centenas a milhares de unidades atômicas (Jones, 2012), que se definem como um material orgânico de elevada estabilidade e resistência à decomposição, proveniente dos resíduos orgânicos, representando uma fração da matéria orgânica existente no vermicomposto, altamente modificada ou sintetizada novamente pelas comunidades bióticas.

Durante o processo de humificação, as substâncias húmicas evoluem qualitativamente com o aumento da predominância dos ácidos húmicos sobre os ácidos fúlvicos, sendo o rácio entre estes dois tipos de ácidos considerado um importante índice de referência para determinar o grau de maturação de um composto, que segundo Dominguez e Arancon (2009) deverá ser superior a 1 para um composto maturado.

Num ensaio levado a cabo por Atiyeh *et al.* (2002), com o intuito de analisar o efeito dos ácidos húmicos presentes num vermicomposto, estes autores verificaram que o crescimento de plantas de tomate e de pepino aumentava significativamente com o aumento da concentração de ácidos húmicos extraídos do vermicomposto.

2.1.3.5. Hormonas vegetais

Arancon *et al.* (2006) analisaram os efeitos dos ácidos húmicos no crescimento das plantas por considerarem que a interação entre as minhocas e os microrganismos pode produzir quantidades significativas de hormonas de crescimento vegetal e ácidos húmicos que atuam como reguladores de crescimento. A sua investigação providenciou evidências de que existe algum mecanismo biológico em que o vermicomposto pode produzir aumentos significativos no desenvolvimento geral e produção efetiva das plantas, independentemente dos nutrientes disponíveis para estas, algo também verificado por Pramanik *et al.* (2006).

Num outro estudo Arancon *et al.* (2004), já tinham verificado que a aplicação de vermicomposto aumentava significativamente o crescimento e produção de morangos (até 37% de área foliar, 37% na biomassa radicular, 40% no número de flores, 36% de plantas e 35% no peso de produto para o mercado) em comparação com a adubação mineral, e verificaram ainda que as doses aplicadas (5 t ha⁻¹ e 10 t ha⁻¹ de vermicomposto) não faziam variar significativamente as produções obtidas, pelo que

concluíram que a produção de reguladores de crescimento das plantas durante o processo de vermicompostagem era o impulsionador dos resultados obtidos.

2.1.4. Produtos e subprodutos resultantes da vermicompostagem

2.1.4.1. Excrementos de minhoca

Segundo Lourenço (2014), do metabolismo das minhocas são expelidas pequenas partículas de matéria orgânica biologicamente estabilizada, de aspeto granular denominadas «excrementos». Este produto pode ser diretamente aplicado ao solo, sem implicações ou restrições para as culturas, sendo os nutrientes facilmente assimiláveis pelas raízes.

Os excrementos possuem elevada superfície em relação ao seu volume, aumentando consequentemente a taxa de decomposição (Lavelle *et al.*, 1997) dos substratos, razão pela qual, após colonizados, os resíduos se decompõem a elevadas taxas.

São pobres em argila e ricos em matéria orgânica, azoto nítrico, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, apresentando elevada capacidade de troca catiónica e saturação em bases (Kieh, 1997, citado de Lourenço, 2014). O mesmo autor sublinha que estes excrementos apresentam em média 70% mais nutrientes que o húmus produzido em condições não controladas no solo.

Uma vez que o vermicomposto apresenta com frequência elevados teores de materiais orgânicos de natureza celulósica ou lenhinho-celulósica parcialmente decompostos, e materiais de origem antropogénica, a percentagem de excrementos de minhoca não deverá ser inferior a 60% em volume, sob pena de reduzir o teor em nutrientes assimiláveis no vermicomposto.

2.1.4.2. Vermicomposto

Segundo Lourenço (2014) este produto é caracterizado como sendo o material enriquecido com os excrementos das minhocas, em conjunto com matéria orgânica decomposta mas não ingerida por estas, contendo, nas condições adequadas de humidade, intensa atividade microbiana.

Alguns autores e a grande maioria dos vermicultores denominam o vermicomposto de «húmus de minhoca». Contudo, o termo encontra-se cientificamente incorreto visto que o húmus presente apenas representa uma parte da matéria orgânica que entra na sua composição (Figura 3),

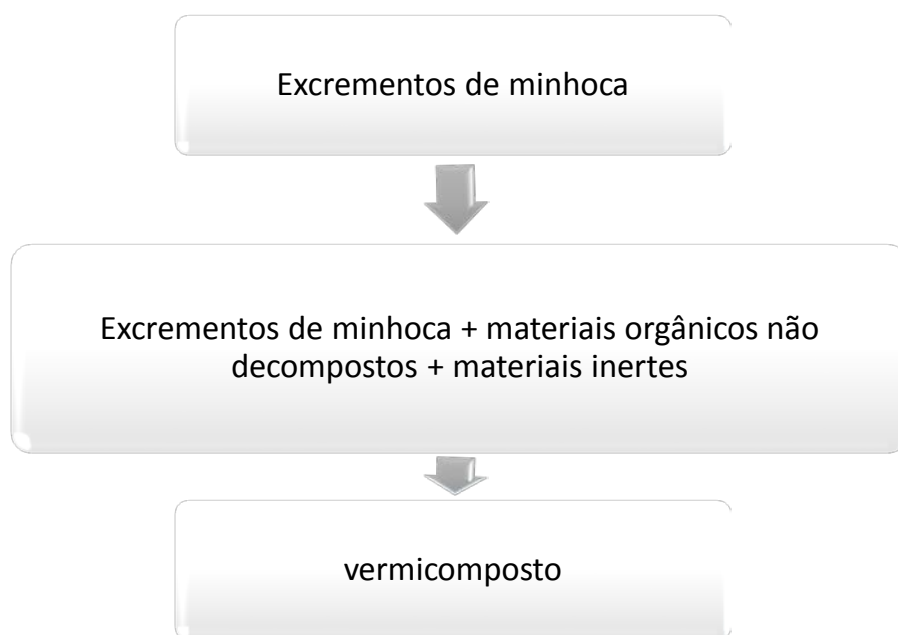


Figura 3 - Representação do processo de vermicompostagem

Fonte: Adaptado de Lourenço (2014)

2.1.4.3. Lixiviado de vermicomposto

Designado popularmente por «soro de minhoca», o lixiviado de vermicomposto é produzido recorrendo a equipamento que permita a recolha dos líquidos que por ação gravitacional escorram do fundo do vermicomposto. Assim define-se lixiviado de vermicomposto como o efluente líquido proveniente da percolação da água de rega, arrastando na sua matriz sólidos dissolvidos e em suspensão, podendo, em determinadas condições, ser utilizado para fertirrega ou para adubação foliar (Ansari, 2012).

A produção e quantificação do lixiviado produzido não seguem, normalmente, um padrão, variando em função da quantidade de água adicionada na unidade pelo operador, incorporada através dos materiais, podendo influenciar a concentração e diluição dos nutrientes assimiláveis para as culturas. Quantificar o volume de lixiviado será tão mais realista quanto maior o rigor na gestão dos teores de humidade na unidade. Por outro lado, a quantidade do lixiviado será tanto mais elevada quanto mais eficazmente se mantiverem no meio condições de aerobiose, evitando-se a ocorrência de processos fermentativos. Em termos de composição o lixiviado é muito diferente do vermicomposto (Quadro 5).

Quadro 5 - Algumas diferenças na composição de um vermicomposto e lixiviado de vermicomposto

Parâmetros	Vermicomposto	Lixiviado de vermicomposto
	(%)	(g/L)
Matéria orgânica	59,14	8,27
Azoto (N)	2,24	0,36
Fósforo (P₂O₅)	2,71	0,20
Potássio (K₂O)	2,00	4,18
Cálcio (Ca)	4,98	0,20
Magnésio (Mg)	1,20	0,24
Relação C/N	15,31	-

Fonte: Adaptado de Santos (2015)

2.2. Aquacultura

Aquacultura é a produção de peixes, moluscos, invertebrados e alguns tipos de plantas num sistema controlado pelo homem. Estes sistemas podem estar localizados em ambiente natural, como é o caso da aquacultura em regime extensivo (grandes gaiolas colocadas no mar) ou em habitats artificiais. Estes dividem-se em regime semi-intensivo (represas em terrenos onde existem naturalmente grandes extensões de água doce ou salgada) ou em regime intensivo (tanques ou reservatórios preparados para o efeito).

A aquacultura contempla os habitats:

- Água quente
- Água fria
- Águas salgadas

Nas águas salobras habitam peixes de grande importância para a aquacultura principalmente devido à capacidade destas espécies em resistir a elevados teores de sais (Parker, R., 2012).

Segundo dados da FAO (2010), em 2008, a aquacultura produziu um total de 46% da oferta total de peixe a nível mundial e cerca de 81% (115 milhões de toneladas) dessa produção foi para consumo humano. Devido à elevada produção dos sistemas intensivos, aliada ao baixo custo de produção nos regimes semi-intensivo e extensivo, verifica-se um grande crescimento da aquacultura à escala comercial e o consumo *per capita* de peixe tem continuamente vindo a aumentar (Tidwell *et al.*, 2012).

No relatório de 2010, a FAO afirma que a aquacultura é a mais provável e mais fiável solução para providenciar os produtos derivados dos meios aquáticos para um mercado cada vez mais exigente e com mais procura. Estes sistemas providenciam uma consistente e confiável fonte nutricional, de alta qualidade e segura, de alimento humano, a um preço razoável (Badiola *et al.* 2012).

A aquacultura continua a ser o sector de produção animal para alimentação com o maior registo de crescimento, onde a oferta *per capita* aumentou de 0,7 kg em 1970 para 7,8 kg em 2008, um aumento médio anual de 6,6% (FAO, 2010).

Dois exemplos de grande sucesso da aquacultura que utiliza sistemas intensivos com recirculação (pelo menos em determinados estados do seu crescimento) são o salmão para indústria e a tilápia (Tidwell *et al.*, 2012).

2.2.1. Sistemas de produção

As técnicas de produção dependem essencialmente do objetivo pretendido e da viabilidade económica da exploração. Em aquacultura, a intensificação dos sistemas implica determinadas características:

- Densidade populacional de peixes;
- Intervenção humana e *inputs* externos (ex. oxigenação)
- Energia requerida

Com a contínua intensificação, foi necessário caracterizar esses sistemas que estão divididos em três categorias. A seleção depende basicamente da quantificação do controlo ou intervenção humana providenciada em termos de três fatores basilares (Tidwell *et al.*, 2012):

- Temperatura
- Oxigenação
- “Limpeza da água”

Partindo dos sistemas menos intensivos até aos mais intensivos, estas três categorias definem-se:

2.2.1.1. Sistemas abertos e gaiolas

Estes sistemas dependem essencialmente do progresso da natureza para garantir os três fatores principais. Os sistemas estão instalados em grandes corpos de água (Figura 4), como na zona costeira dos oceanos. A densidade populacional é normalmente baixa. O oxigénio é normalmente difundido pela fotossíntese das algas e os resíduos orgânicos são naturalmente arrastados pela corrente.

Estes são os sistemas mais antigos que se conhecem. Jaulas de grandes dimensões são colocadas a flutuar. Requerem baixo manuseio e baixos *inputs*. A alimentação deve ser fornecida diretamente aos peixes.



Figura 4 - Exemplo de um sistema em gaiola

Fonte: <http://www.dsm.com/products/dyneema/>

2.2.1.2. Sistemas semifechados e lagos

Ainda nesta categoria, os três fatores principais continuam a depender em larga medida da natureza para adequar os seus critérios: temperatura, oxigenação, e remoção de resíduos. No entanto, a definição de sistemas semifechados implica que a unidade de produção seja em grande parte manuseada e com *inputs* necessários ao seu desenvolvimento (Tidwell, 2012).

Estes sistemas incluem estações construídas em cimento onde um curso natural de água circula pelos seus canais de modo controlado, denominado “raceways” (Figura 5). Para a produção de alguns tipos de organismos, esta é a solução mais eficiente. A água pode ser diretamente retirada de rios, lagos, albufeiras etc., e faz uma única passagem pelos canais construídos para o efeito. Nestas unidades há a possibilidade de controlar a taxa de renovação de água. A sua construção com pouca profundidade faz com que o sol facilmente aqueça a água. É necessário garantir uma concentração mínima de oxigénio, e muitas vezes são utilizados equipamentos de arejamento, assim como desniveis nos canais para criar o efeito de turbulência no curso de água (Landau, 1992).

Em comparação com os sistemas abertos, estas unidades podem albergar até 1000 vezes mais a densidade de peixes por metro cubico de água (Tidwell, 2012).



Figura 5 - Exemplo de um sistema semifechado

Fonte: <http://www.ag.auburn.edu/fish/>

No entanto, os lagos são a estrutura mais comum em aquacultura em sistemas semifechados. De simples construção e fáceis de operar, a taxa de renovação de água pode ser muito baixa, ou até nula. É o caso das explorações que fertilizam os lagos de modo a fornecer alimento à vida microbiana, fomentando a produção de fitoplâncton e zooplâncton. O intuito é criar um ciclo ecológico, que forneça naturalmente alimento aos peixes, necessitando de muito pouca manutenção (Landau, 1992).

2.2.1.3. Sistemas Integrados

Vários estudos foram desenvolvidos com vista à integração da produção pecuária com a aquacultura, com o intuito de criar uma cadeia de reaproveitamento, onde os estrumes e chorumes pecuários são utilizados para alimentação (direta ou indireta) dos peixes (Rapatsa e Moyo, 2013).

Parker (2012) pela sua experiência define um rácio ideal para a integração de efetivos pecuários (galinhas, porcos e patos) em unidades de aquacultura, com o intuito de maximizar a produção de tilápia. Pretende obter a produção de 40 a 45 kg de estrume seco por hectare:

- Galinhas: de 5000 a 5500 unid./ha;
- Porcos: de 60 a 70 unid./ha;
- Patos: de 750 a 1500 unid./ha.

O autor salienta que o estrume destas três espécies é melhor que o estrume de vaca ou ovelha. Isto porque animais alimentados com altas taxas de grãos produzem excrementos que funcionam melhor como fertilizante dos lagos do que os animais em que a dieta se baseia em fibras cruas. Refere ainda que o estrume fresco é melhor que o seco, e que estrumes finamente divididos providenciam maior área disponível para os microrganismos e produzem melhores resultados que volumes densos de estrume (Figura 6).

A produção total de um lago em sistema integrado é significativamente mais baixa, no entanto os custos associados são igualmente bastante mais baixos (Parker, 2012).



Figura 6 - Exemplo de experimentação de um sistema integrado no Quênia

Fonte: <http://jamminglobal.com/2012/>

2.2.1.4. Sistemas fechados

Nos sistemas fechados toda a água é reutilizada num ciclo concebido para desperdiçar o mínimo de água. A intervenção humana é necessária em todo o processo. Uma das vantagens deste sistema é providenciar o operador do controlo total da exploração e todo o sistema, acima de todas as condições ambientais.

Nestes sistemas a temperatura pode ser mantida muito próximo do valor ótimo da espécie em produção, o que tem efeitos muito significativos sobre o desenvolvimento dos peixes. Isto também significa produzir peixes tropicais em locais de clima temperado, à custa sobretudo de energia (Parker, 2012).

Densidades populacionais muito elevadas podem ser conseguidas nestes sistemas, desde que mantidos em condições propícias. Além da temperatura, há um controlo total sobre a oxigenação da água. Não há predadores, os parasitas e doenças microbianas podem ser controladas. A qualidade da água, desde que tratada convenientemente, não é um problema, e a captura dos peixes é simples (Landau, 1992).

Os peixes são normalmente mantidos em tanques, com recirculação de água, e uma sequência de filtros muito eficientes que deixam a água em ótimas condições para voltarem aos tanques (Figura 7). A luz pode ser artificial para aumentar as horas de alimentação (Rad, 2006).

Os sistemas de recirculação apresentam uma oportunidade para reduzir os consumos e gastos de água da aquacultura, melhorar a gestão dos resíduos e a possibilidade de reciclar nutrientes (Martins *et al.*, 2010).



Figura 7 – Sistemas de aquacultura superintensivo

Fonte: <https://aquacultures.wordpress.com/>

2.2.2. Fundamentos de alimentação em Aquacultura

A alimentação dos peixes é vital para o sucesso da aquacultura. Sendo este um sistema onde os peixes estão confinados a um determinado volume, torna-se fundamental a intervenção humana na alimentação dos peixes.

A nutrição representa mais do que o alimento, torna-se a ciência da interação de um nutriente com alguma parte do organismo de um ser vivo. Envolve as características do alimento, a ingestão, a energia disponível, e os resíduos eliminados, que se vão refletir no crescimento e reprodução dos peixes.

O alimento concentrado, tipicamente apelidado de ração, contém a energia e os nutrientes essenciais ao desenvolvimento dos peixes, preservando a sua saúde. Deficiências ou excessos podem reduzir o crescimento e levar ao aparecimento de doenças (Parker, 2012)

Deste modo, define-se como uma dieta equilibrada aquela que contenha os níveis adequados para um determinado estado do peixe. As características principais são:

- Energia;
- Proteína;
- Aminoácidos;
- Lípidos;
- Minerais;
- Vitaminas.

2.2.3. Tilápia

2.2.3.1. Origem

As tilápias pertencem à família dos Ciclídeos, que são nativos de África e do Médio Oriente, nomeadamente de Israel e Jordânia (FAO, 2010). São peixes de fácil reprodução, carne branca, bom valor de mercado, baixo custos de produção e adaptam-se aos sistemas de cultivo mais extensivos até aos mais intensivos (FAO, 2012)

Hoje em dia encontram-se largamente distribuídos por toda a região tropical, subtropical e nas áreas temperadas do globo terrestre (Parker, 2012)

A maioria destes peixes produzidos para consumo humano pertencem ao género *Oreochromis*, (FAO, 2012) sendo que as espécies *O. Niloticus*, a *O. Aureus*, e a tilápia híbrida vermelha (obtida através de vários cruzamentos) são as mais populares (Tidwell *et al.*, 2012). No entanto, devido ao elevado risco de desastre ambiental, estas espécies estão proibidas na maioria dos estados europeus (D.L. 565/99).

Para o presente estudo foi utilizada a denominada tilápia de moçambique, *O. Mossambicus*, permitida em Portugal devido ao seu comportamento menos agressivo e, como tal, menos invasivo (Quadro 6). É uma espécie utilizada em aquacultura em muitos países, no entanto não é a espécie ideal para aquacultura (Tidwell *et al*, 2012).

Quadro 6 - Comparação entre as 3 principais espécies de tilápia

Característica	<i>O. niloticus</i>	<i>O. aureus</i>	<i>O. mossambicus</i>
Crescimento	*****	*****	***
Tolerância ao frio	****	*****	***
Tolerância à salinidade	***	****	*****
Maduração sexual (meses)	5 a 6	4	3
Prolificidade	*****	****	***

Fonte: Adaptado de FAO (2012)

2.2.3.2. Habitat

No geral, as tilápias são criaturas extremamente robustas que podem tolerar condições de água de baixa qualidade.

Um dos entraves à maior dispersão da produção de tilápia pelo mundo reside no facto da tilápia não resistir a temperaturas inferiores a 10 °C e a sua atividade ser seriamente afetada a temperaturas abaixo de 20 °C. A temperatura ideal de crescimento é entre 27 e 30 °C (FAO, 2014).

Por possivelmente descenderem de um ancestral marinho, a maioria das espécies de tilápia conseguem tolerar água com elevada salinidade, sendo que as principais conseguem tolerar águas até 30 g de sal/litro de solução (Tidwell, 2012)

As tilápias toleram valores realmente baixos de oxigénio dissolvido nos seus habitats (próximo de 0 ppm) mas para tal necessitam que a superfície da água esteja livre para poderem respirar. Os valores ótimos situam-se nos 6mg/L de oxigénio dissolvido.

O azoto amoniacal pode ser tóxico para as tilápias em doses elevadas. Tal como para a maioria dos peixes, a toxicidade do azoto amoniacal está diretamente relacionada com o pH. A forma desionizada prevalece para valores de pH mais elevados (Parker, 2012).

2.2.3.3. Biologia

As tilápias apresentam hábitos alimentares que vão do herbívoro (alimentam-se de plantas), fitoplancatófago (alimentam-se de algas), omnívoro (alimentam-se de diferentes tipos de alimento) ao detritívoro (alimentam-se de restos de organismos).

A tilápia possui dentes rudimentares nos lábios, intestino bastante longo, respiração do tipo branquial e o corpo coberto de escamas. A sua reprodução é do tipo parcelada, podendo desovar de 8 a 12 vezes no ano.

Nas condições ótimas de desenvolvimento, as tilápias podem crescer desde o estado de juvenis (50 g) até à maturidade (500 g) em apenas 6 meses.

A maturidade sexual está relacionada, para além do tipo de espécie, com o clima da região, condições de espaço, manejo e alimentação. A relação média de desova é de 4 a 5 ovos por grama de peso vivo da fêmea, pelo que poderá produzir em média 2000 óvulos por desova quando no estado adulto.

Na época de desova, o macho constrói o ninho no piso (chão) do ambiente aquático (Figura 8). A fêmea deposita os óvulos no ninho que logo de seguida são fecundados pelo macho. Um ninho pode servir para a desova de mais do que uma fêmea, e uma desova de fêmea pode ser fecundada por mais de um macho.



Figura 8 - Foto do ensaio: tanque de recria, os machos (a preto) e as fêmeas (mais claras, no centro)

As fêmeas de tilápia desenvolvem cuidados com a prole, de tal forma que após a fecundação recolhem os ovos com a boca onde os mantêm por cerca de sete a oito dias (Figura 9), correspondentes ao período de incubação e desenvolvimento das larvas. Durante esse período a fêmea não se alimenta, e mesmo após os peixes adquirirem capacidade de natação e busca de alimento a progenitora continua dispensando cuidados com os descendentes, fazendo a recolha dos pequenos alevins à boca sempre que presente condições de perigo para estes.



Figura 9 - Fêmea de tilápia incubando os ovos. Adaptado de FAO (2012)

2.2.3.4. Densidades de Produção

Nos sistemas mais intensivos é recorrente separar os machos das fêmeas para se obter um rápido crescimento dos peixes, isto porque os machos crescem mais rapidamente que as fêmeas, obtendo-se assim maiores taxas de desenvolvimento dos indivíduos. Altas densidades reduzem o rácio de crescimento individual, mas a produção (kg de peixe vivo) por unidade de área (ou volume) é maior.

Assim, para um sistema monosexual, em lagos (sistema aberto), é normal utilizarem-se rácios de 10000 a 50000 peixes por hectare (equivalente a 25 ton/ha), enquanto nos sistemas superintensivos, em tanques, se pode chegar a densidades de 150 kg de peixe por metro cubico (equivalente a 750 ton/ha) (Tidwell *et al.*, 2012).

Normalmente, a intensificação implica grandes aumentos de energia requerida. Como tal, é necessário analisar em profundidade a viabilidade e/ou o rendimento liquido da instalação.

São necessários cerca de 6 meses para a produção de 500 gramas de peixe a partir de alevins com 50 gramas. A produção total aproxima-se de 5,5 toneladas por hectare.

Densidades acima de 20000 unid./ha requerem arejamento auxiliar para manter os níveis mínimos de oxigénio no ecossistema (Parker, 2012).

2.2.3.5. Alimentação

Depois dos peixes devidamente instalados, o aspeto mais importante da cultura em sistemas fechados é fornecer alimento de qualidade, com as características adequadas, nomeadamente a percentagem de proteína mínima de 28% (Parker, 2012) até um máximo de 32% (FAO, 2014), nas quantidades corretas a cada tanque, tendo sempre em conta o aspeto económico (El-Sayed, 1999).

Dentro dos valores ótimos de temperatura para esta espécie, as taxas de alimentação dependem do tamanho dos peixes e da densidade de produção. Um quadro referência proposto por Parker (2012) relaciona a quantidade de alimento fornecido por dia a um peixe com o seu peso:

Quadro 7 - Relação de alimento ao dia por peso do peixe.

Peso do peixe (g)	Alimento em percentagem do peso do corpo (%)
1	11,0
2	9,0
5	6,5
10	5,2
15	4,6
30	3,6
50	3,0
100	2,5
175	2,0
450	1,5

Fonte: Parker (2012)

O rácio de reconversão do alimento é de 1,5 o que significa que o peixe ganha 10gr de peso por cada 15gr de alimento ingerido.

É muitas vezes utilizado o alimento concentrado para a obtenção de altas taxas de produção. No entanto, muitos produtores preferem tirar vantagem da natural capacidade de produção dos lagos de tilápia, aproveitando as características destes peixes que ocupam os lugares mais baixos da cadeia alimentar, criando assim uma dieta baseada em plâncton e detritos. Rapatsa e Moyo (2013) avaliaram a capacidade de utilizar estrume de galinhas, vacas e porcos para a produção natural de alimento em lagos com tilápia de moçambique. Nestas situações, a alimentação dos peixes baseia-se numa dieta de fitoplâncton.

Para a instalação de um lago com 1 hectare com alimentação natural (produzida no próprio lago) é necessária uma adubação rica em fósforo e azoto. Para tal, é utilizado como referência o fosfato monoamónio (10-34-0 ou 11-37-0), numa quantidade de 25 kg de adubo por hectare (Parker, 2012).

2.2.3.6. Criação de juvenis

Quando os alevins (pequenos peixes com alguns dias de vida) são recolhidos e colocados no tanque de recria (Figura 10 a 13), é aconselhável uma dieta com 40% de proteína. Os juvenis têm que ser alimentados várias vezes ao dia.

O rácio inicial de alimentação pode chegar a valores de 20% do seu peso em alimento consumido diariamente, quando a água é de boa qualidade e a temperatura mantida a 30°C. Esta temperatura deverá ser gradualmente reduzida durante os primeiros 30 dias de vida.

Durante esse período, devido ao rápido crescimento desta espécie, prevê-se um ganho de 50% do peso corporal a cada 3 dias.



Figura 10 - Foto do ensaio: juvenis com 1 semana



Figura 11 - Foto do ensaio: juvenis com 2 semanas



Figura 12 - Foto do ensaio: juvenis com 4 semanas



Figura 13 - Foto do ensaio: juvenis com 8 semanas no tanque principal

2.2.3.7. Doenças

Uma doença define-se, em aquacultura, como um estado debilitado da normal ação fisiológica de um animal aquático.

Certos parasitas e bactérias podem ter significância mínima quando em condições naturais, mas podem conduzir a resultados desastrosos quando os animais estão amontoados e stressados, em ambiente condicionado, levando facilmente à morte de praticamente todos os animais.

A prevenção é o derradeiro fator para um sistema saudável. Uma boa gestão da qualidade da água, adequada alimentação, e condições sanitárias adequadas previnem as doenças dos peixes.

Os peixes estão constantemente banhados em potenciais agentes patogénicos, incluindo bactérias, fungos e parasitas. Uma baixa na qualidade da água e um sistema imune enfraquecido devido às condições adversas, normalmente associado a condições de stresse permitem que esses potenciais patogénicos se instalem causando doenças.

O stresse é dos principais fatores para o aparecimento de doenças. Nos peixes, o estado de stresse é a condição na qual o animal está incapaz de manter um estado fisiológico normal devido a fatores que afetam o seu bem-estar. O stresse é condicionado por vários fatores (Quadro 8)

Ainda segundo Parker (2012), este estado aumenta os níveis de glucose no sangue. Esta ação é causada pela secreção de hormonas. Os açúcares armazenados, como o glicogénio no fígado são metabolizados. Isto cria uma energia de reserva que prepara o animal para uma situação de ação de emergência. O cansaço físico do animal leva muitas vezes à exaustão e à morte.

Quadro 8 – Fatores que levam o peixe ao estado de stresse

Tipos de stresse	Exemplos	Causas
Stresse Químico	Qualidade da água baixa: Poluição: Composição da dieta: Resíduos metabólicos:	Baixo oxigénio dissolvido, pH impróprio. Contaminação accidental por inseticidas ou tratamentos químicos. Tipos de proteínas e aminoácidos. Acumulação de amónia ou nitritos.
Stresse Biológico	Densidade populacional: Diferentes espécies de peixes: Microorganismos: Macro organismos:	Sobrelotação. Agressão, lutas territoriais. Patogénicos e não patogénicos. Parasitas internos e externos.
Stresse Físico	Temperatura Luz Som Gases dissolvidos	Influencia no sistema imunitário.
Stresse por procedimentos	Transporte Tratamento de doenças	

Fonte: Adaptado de Parker (2012)

2.2.3.8. Resistência às doenças

Nem todos os peixes ficam doentes e morrem cada vez que ocorre um surto de uma doença. Muitos fatores afetam o quanto um individuo responde a um potencial patogénico. E mesmo esse agente patogénico – bactéria, parasita ou vírus – tem que ser capaz de causar doença. O hospedeiro, neste caso os peixes, têm que estar num estado suscetível, e certas condições ambientais tem que estar presentes para um surto ocorrer, tais como as indicadas na tabela anterior.

Em condições que matariam outros peixes, as Tilápias conseguem normalmente resistir e proliferar. Têm no entanto já identificadas algumas doenças e parasitas. É conhecido que para temperaturas abaixo dos 13°C estes seres perdem as suas resistências e ficam sujeitos a infeções por bactérias, fungos e parasitas (Parker, 2012).

2.2.4. Aquaponia

O sistema de aquaponia é baseado no sistema de produção de peixes em aquacultura (com recirculação de água) que incorpora a produção de plantas em hidroponia.

Este sistema integrado tem sido repetidamente estudado nas últimas 3 décadas, com uma grande variedade de *design* de sistemas, diferentes espécies de peixes e plantas e com grande variedade de protocolos experimentais (Rakocy e Hargreaves, 1993).

Na aquaponia, plantas e peixes desenvolvem-se no mesmo volume de água. A água resultante da criação de peixes rica em nutrientes é utilizada para a produção de plantas, e estas, ao alimentarem-se desses nutrientes, ajudam a purificar a água para os peixes, completando assim o circuito de recirculação (Nelson, 2008).

Os sistemas de recirculação são projetados para o crescimento de grandes quantidades de peixe em tanques com volumes relativamente pequenos. A água proveniente destes tanques é filtrada e biologicamente alterada, voltando aos tanques (recirculando). Neste processo de reutilização das águas residuais, acumulam-se nutrientes não tóxicos e matéria orgânica. Se estes elementos forem utilizados para uma segunda produção integrada, quer seja aquática ou terrestre, a esta integração de sistema refere-se como sistema aquapónico (Rakocy, 2012).

Nestes sistemas, as plantas crescem rápido, respondendo aos nutrientes dissolvidos que são excretados pelos peixes ou regenerados através da ação microbológica da decomposição dos seus resíduos. No entanto, a prevalência de deficiências na solução nutritiva leva a que muitas vezes seja necessário a adição de alguns nutrientes, nomeadamente o fósforo e o ferro (Seawright *et al.*, 1998).

Exigem muito pouca renovação de água (menos de 2% ao dia), a acumulação de nutrientes dissolvidos aumenta e aproximam-se das concentrações que são encontradas em soluções nutritivas para hidroponia (Rakocy, 2006).

O oxigénio dissolvido, em particular, pode estar presente em concentrações bastante elevadas em sistemas de recirculação, utilizando-se para o efeito bombas de arejamento e difusores.

A aquaponia é segundo Nelson (2008) uma solução ideal que por um lado satisfaz as necessidades dos produtores de aquacultura em redirecionarem as águas residuais muito ricas em nutrientes, e por outro satisfaz as necessidades dos produtores em regime de hidroponia pela necessidade de fertilização, nomeadamente a azotada.

Essencialmente, a aquaponia "copia" os cursos naturais da água na terra. É assim utilizada para uma produção intensiva, mas também sustentável, de alimento humano.

2.2.4.1. O Processo

O primeiro *input* num sistema de aquaponia é a alimentação dos peixes. Os peixes ao alimentarem-se excretam resíduos. As excreções dos peixes são biologicamente processadas e reconvertidas em nutrientes para as plantas.

Existem assim três grandes intervenientes no sistema aquapónico: os peixes, as plantas, e as bactérias benéficas. São estas bactérias que permitem a transformação dos elementos tóxicos excretados pelos peixes em elementos não-tóxicos para os peixes resultando em nutrientes facilmente assimiláveis pelas plantas. Um exemplo de um sistema destes está ilustrado na figura 14.

Existem dois tipos de bactérias intervenientes neste processo:

- Bactérias aeróbicas autotróficas - utilizam compostos inorgânicos (ex. azoto amoniacal e nitratos) como fonte de energia e geralmente não conseguem decompor matéria orgânica (ex. bactérias nitrificantes).
- Bactérias heterotróficas – decompõem a matéria orgânica (ex. bactérias presentes no processo de compostagem de material orgânico, e na vermicompostagem).



Figura 14 - Exemplo de uma pequena instalação de um sistema aquapónico

Fonte: <http://nourishtheplanet.com/tag/aquaponics/>

2.2.4.2. Filtragem

A primeira fase de um filtro é a remoção de partículas em suspensão, designado por filtro mecânico, onde toda a matéria não dissolvida que permanece em suspensão na coluna de água ou que se depositou no fundo do tanque, normalmente por percolação, é arrastada pela circulação de água, até ao filtro, que pode ser constituído por uma rede fina ou esponjas com diversas densidades, com o intuito de reter o máximo de matéria residual não dissolvida, deixando a água cristalina.

De seguida passa ao chamado filtro biológico, que pode ser constituído pelos mais diversos materiais, onde o intuito é maximizar a superfície disponível de contacto com a água, visto que a eficiência deste processo está diretamente relacionada com a área disponível para que se instalem colónias de bactérias capazes de levar a cabo o processo de nitrificação, com a finalidade de a água à saída ser cristalina (sem substâncias em suspensão) e não tóxica para os peixes (sem azoto amoniacal e sem nitritos).

2.2.4.3. Ciclo do Azoto

Num sistema de aquacultura existem 3 fontes principais de resíduos azotados (Tidwell, 2012):

- Ureia, ácido úrico e aminoácidos excretados pelos peixes;
- Detritos orgânicos de organismos mortos;
- Alimento não ingerido e fezes.

Os peixes libertam azoto diretamente para a água através da urina, e em menor quantidade através das guelras, em forma de azoto amoniacal. Neste azoto amoniacal está contemplado o estado ionizado e não-ionizado do azoto (FAO, 2015).

Num sistema de aquaponia, a alta densidade de produção de peixes resulta em concentrações elevadas de azoto amoniacal.

O azoto amoniacal, tal como os nitritos, mesmo em concentrações baixas, é tóxico para os peixes e maioria dos seres marinhos, nomeadamente pela ação abrasiva que exerce nas guelras dos peixes. Por outro lado os nitratos são relativamente inofensivos e uma

concentração da ordem de 20 mg/L é considerada relativamente inofensiva para a grande maioria dos peixes.

As tilápias por sua vez conseguem suportar facilmente níveis de nitratos até 100 mg/L sem que isso ponha em causa a sua saúde. Dados da FAO (2015) referem concentrações de 150 mg/L de nitratos. Tidwell (2012) indica 200 mg/L como referência máxima.

A concentração de NH_3 (forma desionizada do azoto amoniacal) depende essencialmente da concentração de azoto amoniacal, do pH do meio e da temperatura. Um aumento no pH ou na temperatura aumenta a proporção da forma não-ionizada de azoto amoniacal. Esta forma não-ionizada é tóxica para os peixes, mesmo em concentrações baixas (Rafiee, 2005).

O departamento de aquacultura da FAO (EIFAC) indica como referência a concentração máxima em 0,025 mg/L de azoto na forma não ionizada (NH_3). A recomendação de concentração total de azoto amoniacal é de 2 a 3 mg/L para sistemas de água quente.

A taxa de geração de azoto amoniacal é de aproximadamente 10% da proteína total do alimento fornecido aos peixes (Tidwell, 2012).

O processo que permite a passagem do azoto da forma amoniacal para a forma nítrica denomina-se por nitrificação, e ocorre no sistema aquapónico quando bactérias autotróficas nitrificadoras, mediante determinadas condições (Quadro 9), utilizam o oxigénio dissolvido na água através de um processo em duas etapas:

- Primeiro as bactérias do tipo *nitrosomonas* oxidam o NH_3 ou N-NH_4^+ em nitritos (NO_2^-);
- Depois as do tipo *nitrobacter* (ou *Nitrospira sp* segundo Bernstein (2011)) oxidam os nitritos (NO_2^-) em nitratos (NO_3^-).

Quadro 9 - Valores ótimos desenvolvimento bactérias nitrificadoras

	Temperatura (°C)	pH	N-NH ₃ (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	Oxigénio Dissolvido (mg/L)
Intervalo de tolerância	17-34	6-8,5	< 3	< 3	< 400	4 - 8

Adap. FAO (2015)

No gráfico da figura 15 pode observar-se a evolução da concentração dos três compostos azotados ao longo de um mês e meio de instalação de uma nova unidade, iniciado aquando da colocação dos peixes (início da concentração de azoto amoniacal).

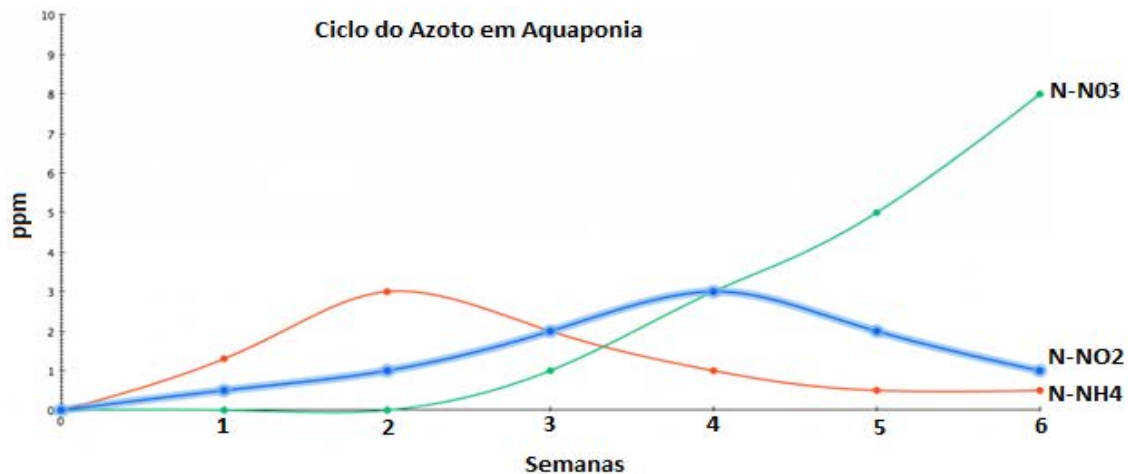


Figura 15 -Ilustração da evolução do ciclo do azoto desde a instalação de um novo sistema.

Adap. de: <http://aquaponics.ie/wordpress/index.php/what-is-aquaponics/starting-your-system/>

Numa primeira fase instalam-se e desenvolvem-se as *nitrosomonas* libertando nitritos, dando lugar ao desenvolvimento das *nitrobacter*, pelo que a concentração de nitratos começa a aumentar. Este ciclo é contínuo, uma vez instaladas as bactérias, todo o azoto amoniacal dissolvido resultante da produção dos peixes é rapidamente transformado em nitratos nos filtros biológicos (FAO, 2015).

2.2.4.4. Oxigenação

O oxigénio dissolvido é o primeiro fator limitante em sistemas de aquacultura intensivos. Uma concentração mínima de oxigénio dissolvido compreendida entre 4 a 6 mg/L de água deve ser mantida para o desenvolvimento e preservação da maioria das espécies aquáticas (FAO, 2015).

Em densidades de populações de peixes até aos 45 kg/m³ pode ser utilizado o ar atmosférico para oxigenação dos tanques, normalmente designado por arejamento. Em sistemas mais intensivos, é necessário o uso de oxigénio puro para uma eficaz oxigenação da água (Tidwell, 2012).

2.2.5. Casos de estudo

Na publicação da FAO (2015) sobre aquaponia, é indicado que, para a produção hortícola num metro quadrado de vegetais folhosos são necessários a adição de 50 gramas de ração ao dia, com uma concentração de proteína ideal de 32%, tomando como referencia uma densidade de peixes de 20 kg por cada 1000 litros de água. Segundo estas referências, por cada grama de alimento é necessário 1 litro de material poroso no filtro biológico para que o sistema tenha capacidade de processar o azoto amoniacal sem que isso interfira com o bem-estar dos peixes.

Estudos de produção de alfaces em aquaponia (Sikawa, 2010) utilizando outros peixes têm sido levados a cabo, nomeadamente com peixe-gato que é uma espécie que tolera ambientes bastante adversos, tal como a tilápia, porém o peixe-gato tem um menor valor de mercado.

Lagarda *et al.* 2012 levaram a cabo estudos com crustáceos, camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) em sistemas integrados com a produção de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) com águas subterrâneas pouco salinas, obtendo bons resultados tanto de produção de camarão, como de tomate semelhantes aos resultados desta cultura ao ar livre. Contudo, constataram uma carência de magnésio na água do sistema no final do estudo. Apesar destes resultados favoráveis, mais estudos são necessários para encontrar o rácio ideal de produção.

Foram ainda efetuados ensaios com a produção conjunta de tilápia e camarão branco com o intuito de aumentar a eficiência do consumo do alimento e melhorar o rendimento global do sistema (Yuan, 2010).

Seawright *et al.* (1998) analisaram a evolução na concentração de sais dissolvidos, nomeadamente N-NO_3^- , P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Zn, e Mn, em função do aumento de biomassa dos peixes da espécie *Nile tilápia*, alimentados com uma ração comercial e mantidos num sistema integrado de aquacultura e hidroponia com cultura de alface (*Lactuca sativa longifolia* cv. Jericho), monitorizados em três períodos de 28 dias experimentais. O sistema integrado continha um total de 325 litros. Foram efetuadas 5 modalidades em função do peso total dos peixes (0, 151, 377, 902, e 1804 gramas). O objetivo deste estudo foi quantificar o fluxo de nutrientes em cada modalidade e analisar o efeito da adição de diferentes quantidades de alimento sobre a disponibilidade de nutrientes dissolvidos para as plantas. Concluíram que a variação na concentração dos diferentes nutrientes difere no tipo de sistema devido à disparidade entre a proporção de nutrientes gerados pelos peixes (rácio nº peixes/volume do sistema) e os nutrientes

absorvidos pelas plantas. O crescimento dos peixes não difere significativamente nas 5 modalidades, o que significa que mesmo intensificando o número de peixes estes continuam desenvolver-se sem problemas.

Graber e Junge (2009) analisaram a possibilidade de utilizar a água residual de um sistema de aquacultura intensivo para a produção vegetal. Verificaram que a produção vegetal aquapónica difere pouco da produção hidropónica convencional, e que não difere significativamente da produção no solo com recurso a água dos peixes. Concluíram que, num sistema de aquaponia, 69% do azoto total removido pelo sistema pode ser convertido em frutos consumíveis (nesta caso tomate).

Nos ensaios de Endut *et al.* (2010) estudou-se o crescimento de peixe-gato africano (*Clarias gariepinus*) num sistema integrado com produção de espinafre aquático (*Ipomoea aquática*). Analisaram o crescimento dos peixes, das plantas, e a extração de nutrientes em diferentes densidades populacionais das plantas. Chegaram a um valor ótimo de 15 a 42 gramas de alimento de peixes por cada metro quadrado de cultura de espinafre. Concluíram também que a taxa ótima de recirculação de água ao dia é pouco superior a 1,2 vezes o volume total de água do sistema.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Estruturas

Para a realização da componente prática deste trabalho usou-se uma estufa (Figura 16), cedida pelo Instituto Superior de Agronomia, situada junto ao edifício da antiga MEAU (Missão de Estudos Agronómicos do Ultramar) e na qual foi necessário efetuar muitas reparações para a tornar funcional. A estufa tem 20 metros de comprimento por 8 metros de largura. Possui sistema de arrefecimento automático por controlo da temperatura e humidade através de painéis evaporativos. Tem uma estrutura em aço e é revestida por placas de polimetacrilato de metilo (PMMA) de estrutura alveolar dupla com 8mm. Este tipo de material, tem um comportamento similar ao vidro e mantém as suas propriedades ao longo do tempo, apresentando uma vida útil de 20 anos (Castilla, 2007).



Figura 16 - Estufa cedida para efeitos do ensaio

A entrega das instalações concretizou-se no dia 18 de Dezembro de 2013, procedendo-se de imediato ao início dos trabalhos.

Devido ao elevado grau de deterioração, foi necessário efetuar uma limpeza de fundo às instalações. Retirados todos os resíduos do interior, foi efetuada uma lavagem com lixívia em todo o pavimento e paredes de suporte da estrutura. Os painéis foram lavados por dentro e por fora recorrendo a um equipamento de pressão de água.

O quadro elétrico foi todo revisto, com necessidade de colocar novas caixas de fusíveis, um termistor e um disjuntor trifásico, e substituído o controlador de temperatura. Pela falta de meios para a compra de equipamento, a intervenção foi no sentido de garantir que o sistema elétrico e de controlo funcionasse o essencial, sempre em segurança.

No início de Maio de 2014 o motor elétrico trifásico que movimenta a ventoinha de extração de ar da estufa queimou, tendo-se procedido à reparação do mesmo.

A canalização de água existente era insuficiente visto que apenas servia o abastecimento dos depósitos dos painéis evaporativos. Foi colocada uma tomada de carga a meio da estufa, com uma torneira a 50 cm do solo e um pequeno tanque de água em cimento, recuperado de outro local da Tapada da Ajuda, com outra torneira para serventia deste e respetiva canalização de esgoto.

A montagem das unidades para os ensaios iniciou-se no dia 29 de Dezembro, tendo-se montado de raiz nesta estufa 3 unidades para apoio ao ensaio (Figura 17):

- Uma unidade de produção de vermicomposto;
- Uma unidade de pré-compostagem;
- Uma unidade de aquacultura.

Numa fase mais avançada do estudo foi efetuado no Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo, um ensaio de vegetação em vasos com a cultura da alface para testar os produtos obtidos nos dois sistemas de exploração (água de regeneração dos peixes, vermicomposto e extrato de vermicomposto).



Figura 17 - Interior da estufa com as diferentes unidades montadas

3.1.1. Unidade de produção do Vermicomposto

A produção de vermicomposto foi efetuada num sistema de gavetas sobrepostas, com um fundo numa malha de aço de 0,4 mm de espessura e espaçamento de 8 mm, sendo a última forrada a madeira no fundo para reter o vermicomposto (Figura 18). Cada gaveta tem 12 cm de altura e foram colocadas cinco gavetas sobrepostas. Foi utilizado como referência um dos modelos propostos por Lourenço (2014):



Figura 18 - Sistema de vermicompostagem utilizado

Inicialmente a uma camada de 2 cm de composto bem maturado adicionou-se cerca de 1 kg de minhocas *Eisenia fedita* e *Perionyx excavatus* (numa proporção 50/50). Juntou-se depois vermiculite para ajudar a manter a humidade e não deixar secar demasiado o substrato.

O novo material a vermicompostar foi adicionado em intervalos de 4 a 8 dias na caixa superior em pequenas quantidades de modo a evitar uma grande concentração de material fresco com o risco de incorrer em fases termófilas do processo de compostagem, como anteriormente descrito. O novo monte era então coberto com uma folha de jornal e tela de plástico, de modo a evitar perdas por evaporação.

3.1.1.1. Produtos obtidos

No sistema construído para o efeito, cada vez que as gavetas enchiam, era retirada a última gaveta de baixo, esvaziado todo o material para posterior processamento, e essa gaveta voltava para o topo de todas as outras, para ser novamente colocada matéria-prima. Normalmente este processo era levado a cabo a cada 3 - 4 semanas.

O vermicomposto obtido era espalhado em cima de telas de plástico deixado a secar ao ar livre durante pelo menos 24h e depois peneirado numa rede de 2 mm de espaçamento, obtendo-se o material sólido apresentado na figura 19. O vermicomposto peneirado foi sendo armazenado para homogeneizar toda a produção sendo então recolhida uma amostra para posterior análise (Quadro 19).



Figura 19 - Vermicomposto e extrato obtidos

A partir do vermicomposto foi possível também obter extratos e lixiviados de vermicomposto, designados normalmente por chá e soro de vermicomposto respetivamente. O lixiviado de vermicomposto foi obtido através da lavagem de um recipiente tipo balde, com uma base de 40 cm e 50 cm de altura, cheio com vermicomposto e regado com água retirada do tanque dos peixes em ciclagem até ao estado de saturação. No fundo do balde foi colocada uma torneira para a obtenção do líquido. Esse extrato foi então levado para análise (Quadro 13).

A solução nutritiva completa de vermicomposto utilizada na rega do ensaio foi obtida diluindo o extrato de vermicomposto com a água do tanque dos peixes retirada no dia 07 de Maio (Quadro 15), numa razão de diluição de 95/5 v/v de água dos peixes e de extrato de vermicomposto respetivamente.

3.1.2. Unidade de pré-compostagem

Foi montada uma unidade de pré-compostagem com o fim de produzir matéria-prima para a produção do vermicomposto (Figura 21). Para alimentar esta unidade foram recolhidas mensalmente as camas das unidades de produção de galináceos (galinhas, codornizes, patos) (Figura 23) e de produção de coelhos (Figura 24).

O material utilizado como matéria-prima para a produção do vermicomposto obtido obteve-se através da colocação de palha para as camas dos animais, sendo retirado 1 mês depois.

O cercado dos galináceos contemplava uma área aproximada de 10 m², e nos coelhos de 8 m². Foram distribuídos 2 fardos de palha para cobrir toda a área uniformemente de modo a maximizar a eficiência de retenção dos resíduos.

Na figura 20 podem observar-se as diferenças entre o fardo de palha e os resíduos depois retirados:



Figura 20 - Diferença entre a palha em fardo e os resíduos das camas dos coelhos e galinhas retirados 1 mês depois, respetivamente.

Foi possível verificar que no caso dos coelhos, principalmente devido às urinas, as camas se apresentavam mais húmidas. No entanto, as camas das galinhas estavam com bastante estrume, restos de alimento não consumido e também alguma areia fina da caixa de areia colocada à disposição dos animais.

Os fardos de palha utilizados foram gentilmente cedidos pelo Instituto Superior de Agronomia. Foram obtidos pela produção de trigo duro na Terra Grande, da Tapada da Ajuda.

Este material foi recolhido do interior dos cercados dos animais instalados na estufa e colocado num monte para ser regado de modo a absorver água e entrar em processo de compostagem.

Os montes foram depositados num cercado construído com paletes, de modo a acondicionar todo aquele material. Para monitorizar constantemente a temperatura foram colocados três termómetros digitais com sensor do tipo k-sensor ao longo da pilha de resíduos.



Figura 21 - Unidade de processamento da fase termófila dos resíduos da produção animal

Entre as 24 a 48 horas iniciais o monte foi colocado a repousar, e regado com aspersor de água, de modo a aumentar a eficiência de absorção da água e evitar escorrimentos, e monitorizada a sua temperatura. Assim que esta atingiu valores superiores a 35°C procedeu-se ao reviramento de todo o monte, com constante aspersão de água. Normalmente ao 4º dia as temperaturas eram superiores a 50 graus no interior de todo o monte de resíduos.

Diariamente o composto foi revirado, regado sempre que necessário, e monitorizou-se a temperatura. Por vezes a temperatura chegou a atingir os 67 °C.

Ao fim de 20 dias as temperaturas começaram a baixar, estabilizando entre os 30 a 40 graus. Nesta altura o composto produzido foi colocado na unidade de

vermicompostagem para as minhocas se alimentarem e fomentarem a decomposição da matéria orgânica.

Também se experimentou a colocação direta das camas dos animais na unidade de vermicomposto. Apesar das altas taxas de decomposição como ilustram as figuras 22 a) e b), revelou-se muito complicado evitar aquecimentos (registados com termómetro analógico de álcool) de toda a unidade. Como tal, a produção do vermicomposto foi sempre efetuada pelo 1º processo descrito.



Figura 22 a) e b) - Foto dos ensaios: Vermicompostagem – diferença em 48 h no material fresco adicionado

3.1.2.1. Matéria-prima para a alimentação animal

A alimentação fornecida aos animais (galináceos e coelhos) foi à base de alimento natural (mistura de sementes), alguma forragem verde de cevada e centeio (produzida no local), restos de fruta de legumes cedidos pela cantina do ISA, complementando-se por vezes com algum alimento concentrado. Os animais tiveram sempre água fresca à disposição. No caso dos galináceos foi colocada uma caixa com areia à disposição dos animais para seu uso.

O alimento que foi maioritariamente utilizado para os galináceos é da marca “Rações Rural” – Lote de cereais para aves II (composto por: milho partido, trigo, sorgo, granulado de subprodutos, girassol preto, casca de ostra) e com a seguinte composição química:

- Proteína bruta: 8,8%
- Gordura bruta: 5,1%
- Celulose bruta: 5,3%
- Cinza total 3,4%
- Cálcio 0,92%
- Fosforo 0,34%



Figura 23 - Unidade de Produção dos Galináceos

No caso dos coelhos, foi adquirida uma mistura natural para coelhos (fig. 24) composta por: aveia, granulado de luzerna desidratada, sêmen de trigo, farelo, alfarroba triturada, ervilha e óleo de soja, com a seguinte composição química:

- Proteína bruta: 11,9%
- Gordura bruta: 4,9%
- Celulose bruta: 8,9%
- Cinza total 7,1%
- Cálcio 1,0%
- Fósforo 0,36%

Foi também disponibilizada água fresca à descrição, e por vezes alguns restos de legumes e fruta gentilmente cedidos pelos Serviços de Ação Social da ULisboa, da cantina do ISA.



Figura 24 - Unidade de produção de coelhos

3.1.3. Unidade de produção de aquacultura

Para a obtenção da água residual de produção de peixes, foi montada uma pequena unidade piloto, com base nos trabalhos de Nelson (2008) constituída por:

- Tanque com 160 litros de água;
- Filtro mecânico com espuma de baixa densidade;
- Filtro biológico com cerâmicas porosas e esferas de plástico.

No total o sistema continha 180 litros de água, dos quais 20 litros correspondem ao sistema de filtragem.

A água saía do tanque principal num tubo de PVC com 25mm de diâmetro numa via em sifão e por diferenças de altura escoava para um segundo depósito (filtro) com o intuito de filtrar e acondicionar a água que retornava ao tanque principal com o auxílio de uma bomba de retorno marca Hailea HX-6520 com um caudal máximo de 1000 L/h e uma altura máxima de elevação de 1,6 m.

Para o sistema de filtragem foi utilizada esponja própria para reter o máximo de partículas em suspensão, seguida de uma segunda unidade de esponja mais fina. No fundo do balde, ao lado da bomba de retorno, foram introduzidos cerca de 4 litros de material cerâmico bastante poroso para fixação dos organismos auxiliares.

Para o aquecimento da água (24 °C) utilizou-se um termostato de 200 Watts da marca EHEIM JAGER. Para provocar o arejamento foi utilizada uma bomba de ar de 400 L/hora da marca EHEIM com dois difusores de pedra com 4 cm de diâmetro.

Foram introduzidos 18 peixes *Oreochromis mossambicus* (tilápia de moçambique) no dia 2 de Fevereiro de 2014, para atingir um rácio de 1 peixe por cada 10 litros de água. Os peixes tinham entre 7 a 9 cm.

O alimento utilizado foi uma ração comercial para ciclídeos africanos da marca *Sera*, com a denominação comercial *Cichlids Sticks*, composta por: farinha de peixe, amido e milho, glúten de trigo, levedura de cerveja, óleo de peixe, farinha de mexilhão de concha verde e alho, apresentando a seguinte composição química:

- Proteína bruta: 41,9%
- Gordura bruta: 7,0%
- Fibra bruta 1,6%
- Humidade 4,2%
- Cinza bruta 4,6%

Os animais foram alimentados duas vezes ao dia até saciar o seu apetite.

No arranque do sistema, já com os peixes colocados, este foi deixado a ciclar (estabilizar as concentrações de azoto amoniacal e nitritos no mínimo) durante 1 mês e meio. Durante esse período foram efetuadas mudanças de água (cerca de 20% a cada 4 ou 5 dias). O comportamento dos animais foi constantemente analisado para decidir a quantidade e frequência das mudanças de água. A agitação anormal dos peixes corresponde normalmente a níveis tóxicos de azoto amoniacal presente na água. Por isso a alimentação foi cuidadosamente doseada de modo a evitar quaisquer desperdícios e concentração em excesso de matéria orgânica em decomposição.

A concentração do N-NH_4^+ e do N-NO_3^- presentes na água dos peixes foi monitorizada ao longo do tempo para evitar que o teor de N-NH_4^+ fosse demasiado elevado de forma a afetar o desenvolvimento dos peixes. No Quadro 10 apresentam-se os valores da água de abastecimento da estufa e da água final dos peixes que foi utilizada mais tarde nos ensaios de vegetação.

Quadro 10 - Composição da água de abastecimento e da água residual dos peixes

Parâmetro	Água Furo	Água peixes
pH	7,50	6,50
CE (mS/cm)	0,63	1,62
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	85,08	141,80
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	1,06	383,00
Azoto nítrico (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0,24	87,90
Azoto amoniacal (mg N-NH ₄ ⁺ /L)	0,02	0,17
Bicarbonatos (meq HCO ₃ ⁻ /L)	4,97	1,36
Carbonatos (meq/L)	<0,01	<0,30
Sódio (mg Na/L)	136,60	235,70
Cálcio (mg Ca/L)	14,40	24,30
Magnésio (mg Mg/L)	8,50	15,70
Razão de Adsorção de Sódio (RAS ou SAR)	7,03	9,12
CSR	3,54	-1,16
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	70,96	125,33
Fósforo (mg P/L)	-	4,50
Potássio (mg K/L)	-	27,20
Manganês (mg Mn/L)	-	<0,10
Ferro (mg Fe/L)	-	<0,10
Cobre (mg Cu/L)	-	<0,10
Zinco (mg Zn/L)	-	0,04

3.2. Ensaio de vegetação em vasos

No Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo instalou-se um ensaio de vegetação em vasos de plástico de 4L de capacidade cheios com 4,5 kg da camada arável de um Arenossolo Háplico (Dístrico) (IUSS Working Group WRB, 2006) proveniente da região do Montijo (Quadro 11). O principal objetivo deste ensaio foi estudar a possibilidade de substituir parte ou a totalidade da adubação mineral da cultura da alface pela utilização de água de renovação dos tanques de produção de peixes, mistura de água de renovação com extrato de vermicomposto ou pela aplicação conjunta de vermicomposto e água de renovação.

Quadro 11 - Principais características do solo utilizado no ensaio

Matéria orgânica (g/kg)	15,40
Textura de campo	arenosa
pH em água	5,69
pH em KCl	5,01
Fósforo disponível em P (Egner-Rhiem) (mg/kg)	127,07
Potássio disponível em K (Egner-Rhiem) (mg/kg)	85,8
N-NH₄⁺ (mg/kg)	1,43
N-NO₃⁻ (mg/kg)	25,90
Cálcio (acetato de amónio) (cmol(+)/kg)	1,45
Magnésio (acetato de amónio) (cmol(+)/kg)	0,37
Potássio (acetato de amónio) (cmol(+)/kg)	0,34
Sódio (acetato de amónio) (cmol(+)/kg)	0,09
Ferro (Lakanen) (mg/kg)	63,10
Cu (Lakanen) (mg/kg)	8,00
Zn (Lakanen) (mg/kg)	12,40
Mn (Lakanen) (mg/kg)	10,30

Foram ensaiadas as seguintes modalidades em quadruplicado:

A - NK (adubação mineral);

B - NK (N de cobertura é proveniente da aplicação da água dos peixes);

C - NK (parte da adubação de fundo NK substituída pela aplicação de vermicomposto);

D - NK (toda a adubação azotada de fundo e parte da potássica substituída pela aplicação de vermicomposto);

E - Toda a adubação quer de fundo quer de cobertura fornecida através de uma mistura de água dos peixes e extrato de vermicomposto (95/5 v/v).

A quantidade de nutrientes a aplicar por vaso foi de 0,6 g de N/vaso (sendo 0,2 g em adubação de fundo e 0,4 g em adubação de cobertura) e de 0,4 g de K/vaso aplicado em fundo na forma de sulfato de potássio nas modalidades A, B, C e D e em cobertura na modalidade E pela mistura de água dos peixes (Quadro 10) e extrato de vermicomposto (Quadro 13).

Nas modalidades em que foi aplicado azoto mineral de fundo (A, B e C) este foi veiculado através de sulfato de amónio (p.a). Na modalidade C e D a quantidade de vermicomposto (Quadro 12) aplicada corresponde a metade e à totalidade de azoto mineral (calculado em função do azoto total do vermicomposto) aplicado em fundo respetivamente. Como estas quantidades não veiculam a quantidade de potássio estipulada (0,4 g de K /vaso) foi necessário aplicar o restante potássio sob a forma mineral (sulfato de potássio).

No caso das modalidades A, B, C e D o azoto de cobertura começou a ser aplicado uma semana após a transplantação na forma de solução de nitrato de amónio, na modalidade A, e água dos peixes nas modalidades B, C e D. No caso da modalidade E iniciou-se a aplicação de nutrientes no dia a seguir à transplantação e a solução foi distribuída ao longo do ensaio.

Quadro 12 - Composição do vermicomposto (material original)

Humidade (g/kg)	M.O. (g/kg)	C (g/kg)	Nk g/kg	N-NH₄⁺ (mg/kg)	N-NO₃⁻ (mg/kg)	C/N	P (g/kg)
431,40	278,70	161,70	6,60	2,77	550,00	22,60	1,9
K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)	Fe (g/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
3,50	22,20	8,50	1,60	22,70	20,48	213,65	239,46

Quadro 13 - Composição do extrato de vermicomposto

pH	E.C (mS/cm)	M.S. (%)	N-NH₄⁺ (mg/L)	N-NO₃⁻ (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
7,10	8,80	0,98	14,90	27,30	68,46	1164,90
Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
439,87	276,15	870,10	0,44	4,96	0,53	0,52

O ensaio foi montado no dia 30 de Maio de 2014, tendo-se transplantado uma alface por vaso (Figura 25). A humidade do solo foi mantida, durante todo o ensaio, a 60% da capacidade de saturação do solo para a água por diferença de peso. No fim do ensaio, dia 11 de Julho de 2014 (Figura 26 e 27), a parte aérea das plantas foi pesada em fresco e, após secagem a 65 °C durante 48 horas, moída e analisada para a determinação do teor em elementos minerais. Retiraram-se igualmente amostras de solo de cada vaso para posterior análise.



Figura 25 - Alfaces no 2ºdia de ensaio



Figura 26 - Um exemplar de cada modalidade colocados em fila para comparação, no dia do final do ensaio (Horto de Química Agrícola Boaventura de Azevedo)



Figura 27 - Alfaces no dia do corte: 11 Julho de 2014

Foi registada a temperatura ambiente junto aos vasos pelo equipamento RC-3 TEMP. METER durante todo o ensaio, programado para intervalos de 2 em 2 minutos, num total de 32000 registos. A tabela seguinte resume a amostra de dados:

Quadro 14 - Registo da temperatura no Horto de Química Agrícola (ISA)

	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura	13,3°C	24,0°C	41,1°C

3.2.1. Análise da parte aérea das plantas

Para a determinação dos elementos minerais da parte aérea das plantas foram efetuadas duas extrações – uma para a determinação do teor em N e P e outra para a determinação dos restantes elementos. O azoto foi determinado pelo método de Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998). Pesou-se rigorosamente para tubos de digestão cerca de 0,3 g de material seco e adicionou-se ácido sulfúrico concentrado e um catalisador (selénio). Depois de uma pré-digestão de um dia os tubos foram sujeitos a uma digestão a temperaturas elevadas (duas horas a 135 °C, dez minutos a 200 °C e quatro horas e meia a 350 °C). Depois da amostra arrefecida foi adicionada água até ao volume final de 50 mL. O azoto e fósforo presentes no extrato foram doseados num autoanalisador de fluxo segmentado de marca Skalar, usando o método de Berthelot para o azoto (Houba *et al.* 1989) e o método de Strickland and Parsons (1965) para o fósforo.

Para a determinação dos restantes elementos minerais na parte aérea pesou-se rigorosamente para uma cápsula, previamente seca e tarada, cerca de 1 g de material vegetal, a qual foi colocada em estufa a 105 °C até peso constante (determinar a humidade da amostra). De seguida procedeu-se á calcinação da amostra em mufla a 500-550 °C. A cinza obtida foi de seguida tratada numa placa de aquecimento com uma solução de ácido clorídrico 3 M, utilizando três tomas de 10 mL. Na última toma colocou-se um vidro de relógio sobre a cápsula e deixou-se assim durante cerca de 10 minutos (Martí e Munoz 1957). Finalmente filtrou-se esta solução para balões de 100 mL com auxílio de água destilada aquecida. Deixou-se arrefecer os balões e perfez-se o volume dos balões. Os elementos K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe Mn, Zn foram quantificados por espectrofotometria de absorção atómica. O B foi doseado num autoanalisador de fluxo segmentado pelo método da azometina-H (Capelle, 1961).

3.2.2. Análise dos solos

Na análise de solos utilizaram-se os métodos normalmente usados no laboratório de solos, plantas e fertilizantes, da Seção de Química e Ambiente do DCEB, nomeadamente:

- pH (H₂O) (1:2,5) – Potenciometria;
- Fósforo extraível (P₂O₅) - Égner-Rhiem, EAM VIS/UV (Egner *et al.*, 1960);

- Potássio extraível (K_2O) - Égner-Rhiem, fotometria de chama (Egner *et al.* 1960);
- Azoto nítrico ($N-NO_3^-$) - Espectrofotometria de absorção molecular (Houba *et al.* 1989);
- Azoto amoniacal ($N-NH_4^+$) - Espectrofotometria de absorção molecular (Houba *et al.*, 1989);
- Matéria orgânica - Combustão, detecção de CO_2 por IV;
- Condutividade elétrica (1:2) – Condutivimetria;
- Acidez de troca - Titulometria
- Bases de troca (Na, Ca, Mg e K) - Simard (1993), acetato de amónio 1M (1:15), EAA;
- Ferro extraível (Fe) - Lakanen-Ervio (1971), EAA;
- Cobre extraível (Cu) - Lakanen-Ervio (1971), EAA;
- Zinco extraível (Zn) - Lakanen-Ervio (1971), EAA;
- Manganês extraível (Mn) - Lakanen-Ervio (1971), EAA;
- Boro (Br) - extração com água fervente, doseamento no autoanalisador pelo método da azometina-H (Capelle 1961).

3.2.3. Análise do vermicomposto

Na análise do vermicomposto utilizaram-se os métodos normalmente usados no laboratório de solos, plantas e fertilizantes, da Seção de Química e Ambiente do DCEB, nomeadamente:

- pH (H_2O) – Potenciometria;
- Azoto nítrico ($N-NO_3^-$) - Espectrofotometria de absorção molecular (Houba *et al.* 1989);
- Azoto amoniacal ($N-NH_4^+$) - Espectrofotometria de absorção molecular (Houba *et al.* 1989);
- Matéria orgânica - Combustão, detecção de CO_2 por IV;
- Condutividade elétrica – Condutivimetria;
- O azoto foi determinado pelo método de Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998);

- O fósforo após digestão pelo método de Kjeldahl foi depois doseado num autoanalisador de fluxo segmentado por espectrofotometria de absorção molecular – método de Strickland and Parsons (1965).

Os restantes elementos minerais procedeu-se como o indicado para o material vegetal.

3.2.4. Análise da água do furo e da água de regeneração dos peixes

Na análise destas duas águas também se utilizaram os métodos normalmente usados no laboratório de solos, plantas e fertilizantes, da Seção de Química e Ambiente do DCEB, nomeadamente:

- pH – Potenciometria;
- Azoto nítrico (N-NO_3^-) - Espectrofotometria de absorção molecular (Houba et al 1989);
- Azoto amoniacal (N-NH_4^+) - Espectrofotometria de absorção molecular (Houba et al 1989);
- Condutividade elétrica – Condutivimetria;
- Cloretos , argentometria – método de Mohr;
- Bicarbonatos – método volumétrico por neutralização;
- Fósforo – espectrofotometria de absorção molecular;
- Restantes elementos minerais – espectrofotometria de absorção atómica.

3.2.5. Análise estatística

Os dados foram tratados estatisticamente através do programa Statistics, sendo submetidos a análise de variância (ANOVA) e de seguida a um teste de comparação de médias, utilizando o teste da menor diferença significativa para um nível de significância de 5% (Montgomery, 1991).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teores de azoto nítrico e azoto amoniacal presentes na água dos peixes

Para a obtenção da água de regeneração dos peixes para efetuar um ensaio de vegetação, ou para ser utilizada num sistema hidropónico, é necessário monitorizar as concentrações das formas de azoto mineral presentes na água ou observar o comportamento dos peixes. A regeneração é normalmente efetuada quando os teores de azoto amoniacal se apresentam elevados ($> 0,5$ mg de $\text{N-NH}_4^+/\text{L}$) ou quando a agitação dos peixes é muito grande. No quadro 15 apresenta-se a evolução dos teores de azoto presentes na água dos peixes desde o início da instalação destes.

Quadro 15 - Evolução dos níveis de azoto nítrico e amoniacal no tanque dos peixes

Parâmetro	Água Furo	27-Fev.	06-Mar.	11-Abr.	23-Abr.	05-Maio
C.E. (mS/cm)	0,63	0,60	0,82	1,34	1,54	1,62
Azoto nítrico (mg $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$)	0,24	2,29	6,08	22,18	55,90	87,90
Azoto amoniacal (mg $\text{N-NH}_4^+/\text{L}$)	0,02	0,04	0,12	0,07	0,11	0,17

A colheita da água de regeneração foi efetuada no dia 05 de Maio de 2014 (Figura 29) tendo os resultados laboratoriais apresentado pela primeira vez neste ensaio uma concentração de azoto nítrico adequada.

O valor máximo de azoto amoniacal atingido (0,17 mg de $\text{N-NH}_4^+/\text{L}$) está longe do limite recomendado, pelo que podia ter-se continuado o estudo até se obter uma concentração de azoto nítrico ainda mais elevada sem que com isso se pusesse em causa o bem-estar animal naquele sistema. No entanto como havia uma certa urgência na solução para não atrasar o ensaio de vegetação optou-se por colher a água com este teor de azoto nítrico.

Como pode observar-se na figura 28, a evolução do teor de azoto nítrico em função da condutividade da solução é de natureza exponencial, apresentando um elevado coeficiente de correlação. Assim, é possível, com um certo grau de certeza, prever qual o teor de azoto nítrico presente na solução através de uma simples leitura da sua condutividade. Como esta correlação não se encontra estudada, não existem para comparação dados de outras investigações. Estes resultados são ainda preliminares pois muito mais estudos será ainda necessário efetuar para poder obter conclusões deste tipo.

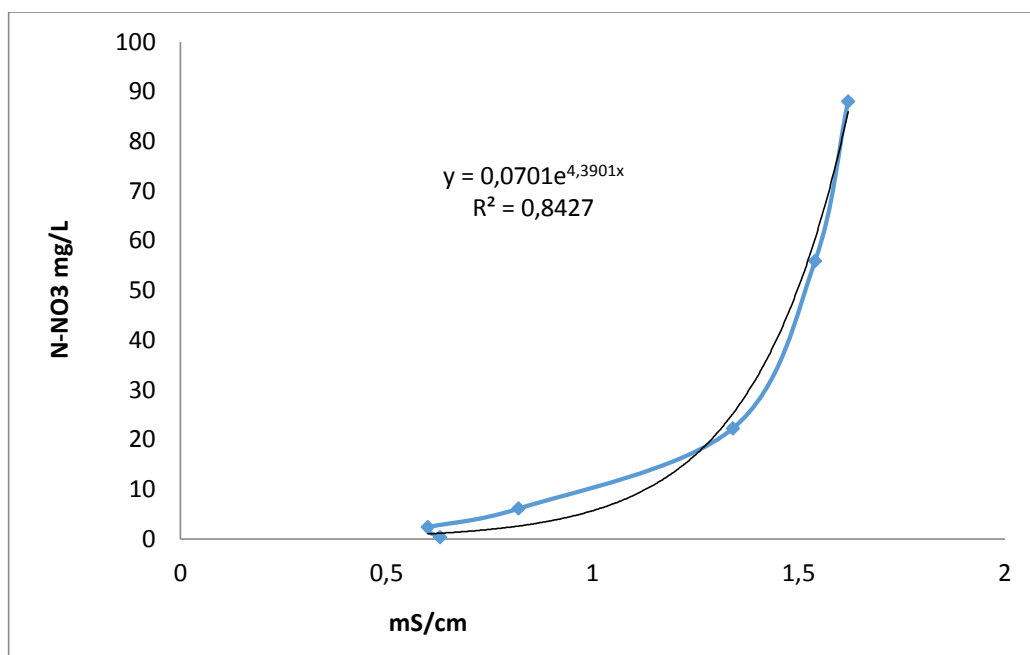


Figura 28 - Correlação entre a leitura da condutividade elétrica (CE) e concentração de azoto nítrico (mg/L)

4.2. Vermicomposto e extrato de vermicomposto

Os resultados das análises ao vermicomposto apresentam-se no quadro 12 e as do extrato de vermicomposto no quadro 13.

Os valores obtidos para o teor de carbono e relação C/N foram melhores que os apresentados por Souza *et al.* (2006), e muito próximos dos valores ideais apontados por Dominguez *et al.* (2011), mas ficam um pouco aquém dos valores de Santos (2015) (Quadro 6). É de salientar que é normal encontrarem-se valores diferentes para este tipo de produtos dada a sua heterogeneidade pois a sua composição depende muito da matéria-prima que é utilizada para a sua feitura (Souza *et al.* 2006)

Devido à escassez de tempo e dificuldades iniciais, esta amostra com aproximadamente 4 litros de volume foi utilizada para a instalação do ensaio de vegetação. No geral, e dada que esta foi a primeira e única tiragem de vermicomposto enviada para análise, os resultados obtidos foram bons, encontrando-se em linha com resultados de outras investigações (Dominguez 2011).

A baixa relação azoto amoniacal/azoto nítrico traduz as boas condições de aerobiose durante a produção do vermicomposto. O valor da humidade (Quadro 12) expressa que o material está pronto para armazenamento e/ou utilização.

O alto teor em ferro observado poderá ser consequência da utilização de uma malha de aço comum para a construção das gavetas onde foi produzido o vermicomposto, ou eventualmente restos de limalhas da fase de construção dos cercados dos animais.

Depois de concluída a fase de ensaio para a produção do vermicomposto (Maio de 2014), todas as gavetas foram despejadas para um monte, para observação das condições. Verificou-se que a espécie *Perionyz excavatus* (violeta-dos-himalaias) praticamente tinha desaparecido. Este resultado poderá ser devido à menor tolerância desta espécie ao manejo e intervenção humana, ou questões de adaptabilidade ao ambiente em questão. Foram também observados imensos ovos, provavelmente de *Eisenia fedita*.

4.3. Solução composta por extrato de vermicomposto e água de regeneração dos peixes (5/95% v/v)

No quadro 16 apresenta-se a composição da solução composta pela mistura do extrato de vermicomposto e água de regeneração dos peixes calculada em função dos respetivos teores nas duas soluções de mistura (com exceção do valor de pH que foi estimado) e a composição de uma outra solução nutritiva normalmente usada em cultura sem solo em culturas de folha.

Quadro 16 - Composição da solução composta por extrato de vermicomposto e água de regeneração dos peixes e de uma solução nutritiva tipo

Parâmetro	Solução	Solução nutritiva*
pH	7,0-7,2	5,8-5,9
CE (mS/cm)	1,98	1,70
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	373,06	566,40
Azoto nítrico (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	85,62	130,00
Azoto amoniacal (mg N-NH ₄ ⁺ /L)	0,10	10,00
Bicarbonatos (meq HCO ₃ ⁻ /L)	4,78	—
Sódio (mg Na/L)	267,40	—
Cálcio (mg Ca/L)	45,07	130,00
Magnésio (mg Mg/L)	28,70	20,00
Razão de Adsorção de Sódio (RAS ou SAR)	7,64	—
CSR	0,14	—
Fósforo (mg P/L)	7,69	25,00
Potássio (mg K/L)	84,04	180,00
Manganês (mg Mn/L)	0,02	0,50
Ferro (mg Fe/L)	0,24	1,90
Cobre (mg Cu/L)	0,03	0,03
Zinco (mg Zn/L)	0,03	0,20

*Solução nutritiva típica (FAO, 1990)

Se esta solução obtida fosse para ser utilizada como fonte de todos os nutrientes de uma cultura sem solo, com poucos ou nenhuns aportes exteriores de nutrientes, apresentava alguns problemas a resolver. Alguns desses problemas poder-se-iam facilmente ultrapassar, como por exemplo a correção do pH, mas outros seriam de resolução mais difícil como por exemplo a correção da concentração relativamente baixa da maioria dos nutrientes. Para ultrapassar este problema haveria pelo menos duas hipóteses a investigar:

- Estudar até que ponto é possível enriquecer em azoto nítrico a água de regeneração dos peixes sem causar mal-estar aos mesmos. Um enriquecimento em azoto nítrico é acompanhado por um aumento de potássio e sódio da água e em menor grau de fósforo;
- Utilizar uma maior proporção de extrato de vermicomposto na mistura final. O extrato de vermicomposto é muito rico em K, Ca, Mg e Na mas pobre em N.

Mesmo ensaiando estas duas hipóteses haveria sempre um problema de difícil resolução relacionado com a concentração de sódio da mistura. Com efeito no caso considerado o teor de sódio provém da composição da própria água (eventualmente com um água de melhor qualidade relativamente a este parâmetro fosse mais fácil resolver este problema), e dos excrementos dos peixes e das minhocas que por sua vez estão relacionados com a alimentação dos peixes e das minhocas. Seria necessário estudar alternativas à alimentação dos animais de forma a reduzir a concentração de sódio nas fezes e finalmente na água dos peixes e no vermicomposto.

A hipótese de utilização da mistura deste tipo de produtos para obter uma verdadeira solução nutritiva com poucos ou nenhuns aportes exteriores de nutrientes não é fácil e exige muitos estudos e experimentação.

4.4. Ensaio de vegetação em vasos

No quadro 17 apresentam-se os valores das produções obtidas (g/vaso) no ensaio de vegetação (Figura 29). Observa-se que, tomando em consideração o peso seco, não se observaram diferenças significativas entre as modalidades, o que sugere que as alterações introduzidas não provocaram qualquer diminuição de produção, i.e.:

- A aplicação da água dos peixes em cobertura substituiu eficazmente a adubação mineral de cobertura;
- A utilização da solução nutritiva composta pela mistura da água dos peixes com extrato de vermicomposto substitui também de forma eficaz toda a adubação mineral efetuada no ensaio;
- Também será possível, sem quebra de produção, substituir parte da adubação mineral de fundo pela aplicação de vermicomposto.

Por outro lado, se tomarmos em consideração o peso fresco verifica-se que as modalidades ensaiadas originaram produções mais elevadas que a modalidade testemunha (mod A). Esta diferença pode ter sido eventualmente causada pelo abaixamento do pH do solo (Quadro 20) verificado nesta modalidade causado pela adubação mineral. Das outras quatro modalidades estudadas (B, C, D e E) a que originou menores produções de massa fresca foi aquela em que a aplicação de todo o azoto de fundo foi veiculada via vermicomposto o que pode ter levado a uma menor disponibilização de azoto uma vez que a quantidade de vermicomposto aplicada foi calculada em função do seu teor em azoto total.

Quadro 17 - Produção das alfaces (g/vaso) obtidas no ensaio de vegetação

Modalidades	Peso fresco	Peso seco
A	252,13c	26,35a
B	314,55ab	25,65a
C	321,35a	24,78a
D	293,18b	25,18a
E	316,65ab	26,15a

* Valores na coluna seguidos de letras diferentes são significativamente diferentes para $P \leq 95\%$

Quando comparamos estes resultados com as extracções dos nutrientes (Quadro 18) verificamos com efeito que a modalidade A é aquela que apresenta um menor valor para o N exportado e que das outras quatro modalidades é precisamente a modalidade D aquela que apresenta menor extracção de azoto. Também estas duas modalidades são as que apresentam menores valores para o teor de azoto na parte aérea (Quadro 20). Quando comparamos os valores de extracção para os restantes macronutrientes verificamos que não há diferenças significativas entre as modalidades no caso da extracção do fósforo, cálcio e magnésio.

Quadro 18 - Extracções Médias de Macro e Micronutrientes resultantes do ensaio

Mod.	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)
A	444,16c	111,98a	562,94b	250,03a	90,60a	53,31d
B	545,89a	118,16a	668,87a	228,57a	98,39a	469,94b
C	522,19ab	112,27a	640,97a	214,24a	93,46a	444,58bc
D	458,87bc	104,46a	696,11a	209,72a	80,66a	422,04c
E	516,31abc	114,86a	664,44a	182,85a	91,02a	551,28a

Mod.	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)
A	6,81a	0,33a	4,19a	3,82a	0,43c
B	7,41a	0,26a	3,41b	1,47b	0,97ab
C	6,82a	0,37a	3,11b	0,71c	0,93ab
D	6,17a	0,20a	2,22c	0,55c	0,66bc
E	5,70a	0,23a	2,02c	0,44c	1,00a

* Valores na coluna seguidos de letras diferentes são significativamente diferentes para $P \leq 95\%$

No caso do potássio, todas as modalidades foram, em média, 18% superiores à testemunha, o que é facilmente compreensível dada a sua presença na água dos peixes (27,2 mg de K/L).

No que diz respeito à extracção do sódio verifica-se que nas modalidades em que se utilizou água dos peixes e/ou vermicomposto as extracções de sódio aumentaram significativamente devido ao facto de ambos os produtos apresentarem sódio na sua composição. Aliás quando analisamos os resultados obtidos para o solo no fim do ensaio (Quadro 19), ou para o teor de sódio nas plantas no fim do ensaio (Quadro 20)

verificamos que o teor deste elemento aumenta muito quer em termos de bases de troca quer no material vegetal nas modalidades B, C, D e E.

Quanto às extrações de micronutrientes verifica-se que a extração de zinco e manganês diminui de forma significativa nas modalidades B, C, D e E o que está de acordo com os menores teores destes elementos na parte aérea devida provavelmente a um aumento de pH verificado nestas modalidades (Quadro 20). Este efeito é ainda maior nas modalidades D e E aquelas em que o aumento de pH foi significativamente maior. Resultados semelhantes a estes, diminuição da disponibilidade de Mn e Zn em função do aumento de pH têm sido observados por outros autores (Quelhas, 2015).

Quanto às extrações de boro verifica-se que aumentam nas modalidades B, C, D e E o que está de acordo com a sua maior disponibilidade nestas modalidades o que se pode constatar pelo teor mais elevado deste elemento na parte aérea da cultura nestas modalidades.

Relativamente a outras características do solo ainda não analisadas é de chamar a atenção para os seguintes aspetos:

- Maior acidez de troca da modalidade A o que está de acordo com o valor de pH de solo mais baixo verificado nesta modalidade;
- Adição de matéria orgânica através do vermicomposto não conduziu a um aumento significativo do seu teor no solo;
- O valor de potássio disponível no solo no fim do ensaio é relativamente baixo indicando que provavelmente a adubação potássica efetuada foi insuficiente (400 mg de K por vaso aplicado e extração de cerca de 600 mg por vaso);
- O teor de magnésio de troca foi significativamente maior nas modalidades em que se utilizou água dos peixes e/ou vermicomposto.

Quanto à parte aérea é ainda de salientar que apesar do vermicomposto apresentar valores relativamente elevados de ferro e cobre não se verificaram diferenças para os seus teores na parte aérea e para as extrações nas outras modalidades.

Quadro 19 - Análise final solo após ensaio

Mod.	pH	E.C.	M.O. (g/kg)	N-NH ₄ ⁺ (mg/kg)	N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	B (mg/kg)	Acidez Troca
A	4,83e	0,22b	11,00a	3,36a	6,90	139,6c	37,5c	0,18b	0,281a
B	5,53d	0,32a	9,50a	3,02a	2,20	159,9bc	54,8a	0,42a	0,211b
C	5,78c	0,30a	11,00a	2,62a	1,30	183,5ab	48,3ab	0,48a	0,187b
D	6,18b	0,24b	11,60a	2,95a	1,50	177,7bc	40,4bc	0,40a	0,187b
E	6,63a	0,30a	10,80a	2,40a	2,30	189,3a	42,9bc	0,47a	0,187b
Mod.	Ca (cmol (+)/kg)	Mg (cmol (+)/kg)	Na (cmol (+)/kg)	K (cmol (+)/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	
A	1,97c	0,44c	0,04c	0,09b	59,16b	5,52b	10,98a	6,39a	
B	2,35b	0,58b	0,64b	0,123b	59,58b	5,85b	11,75a	7,37a	
C	2,59ab	0,60ab	0,61b	0,108ab	68,56ab	6,17ab	12,48a	8,45a	
D	2,79a	0,67a	0,62b	0,102b	68,02b	5,53b	12,48a	8,36a	
E	2,51ab	0,66ab	0,82a	0,098b	79,70a	6,67a	13,23a	8,75a	

* Valores na coluna seguidos de letras diferentes são significativamente diferentes para P≤95%

Quadro 20 - Teores de macro e micro nutrientes na parte aérea das plantas de alface (matéria seca)

Mod.	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)
A	16,82c	4,25a	21,38c	9,48a	3,42a	2,01d
B	21,41a	4,62a	26,07ab	8,91a	3,83a	18,34b
C	21,03a	4,53a	25,87ab	8,65a	3,77a	17,93bc
D	18,27bc	4,16a	27,73a	8,34ab	3,21a	16,81c
E	19,73ab	4,39a	25,41b	6,97b	3,48a	21,09a
Mod.	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	
A	260,28a	12,44a	159,55a	147,04a	16,62b	
B	290,41a	10,23a	133,23b	57,71b	37,48a	
C	275,00a	14,83a	125,48b	28,43c	37,50a	
D	245,39a	8,08a	88,23c	21,63c	26,61ab	
E	218,21a	8,84a	77,44c	16,70c	38,33a	

* Valores na coluna seguidos de letras diferentes são significativamente diferentes para P≤95%

5. CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendia-se estudar, se concretamente para a cultura da alface, era possível substituir parte ou toda a adubação mineral pela utilização da água de renovação da cultura de peixes, mistura desta água com extrato de vermicomposto ou pela aplicação conjunta de vermicomposto e água de renovação.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização da água de regeneração dos peixes é uma boa alternativa para substituir a adubação azotada mineral de cobertura. Com efeito, nas modalidades em que se utilizou a água de regeneração dos peixes a produção foi igual ou superior àquela em que se utilizou só a adubação mineral. A utilização desta água apresentou, neste caso concreto, como uma das principais vantagens relativamente à utilização da adubação mineral o facto de aumentar ou pelo menos não alterar a reacção do solo ao contrário do que acontece com a adubação que diminuiu de forma significativa o valor de pH do solo. Conclui-se como principal desvantagem o facto de a sua utilização contribuir para um aumento significativo do teor de sódio no solo.

Deste ensaio conclui-se igualmente que parte ou a totalidade da adubação azotada de fundo desta cultura pode ser substituída pela utilização de vermicomposto sem diminuição das produções. Concluiu-se igualmente que a utilização de vermicomposto contribuiu para um aumento do pH, boro e sódio do solo.

Relativamente à utilização de uma solução nutritiva composta por uma mistura da água de regeneração dos peixes com um extrato de vermicomposto concluiu-se que esta mistura podia substituir totalmente a adubação azotada e potássica da cultura da alface. Para além de quantidades apreciáveis de azoto e potássio esta mistura veicula igualmente outros nutrientes, nomeadamente cálcio, magnésio, fósforo e alguns micronutrientes.

Destes estudos é também possível concluir que a formulação de uma verdadeira solução nutritiva a partir deste tipo de soluções é difícil de obter e necessita de muito maior investigação e experimentação apresentando com principal limitação o teor de sódio presente nas soluções finais.

Em termos de conclusão de carácter mais prático podemos afirmar que a água de regeneração dos peixes, devido à sua riqueza em azoto e potássio poderá ser utilizada em adubação de cobertura em qualquer cultura para suprir as necessidades totais de

azoto e parte das necessidades em potássio. Uma outra solução com implicações práticas importantes seria o de utilizar plantas como filtro biológico para a reabilitação da água de regeneração dos peixes.

6. TRABALHOS FUTUROS

6.1. Aquacultura

A aquacultura, apesar de não ser por base uma ciência agrária, é indiscutivelmente uma fonte de mais-valias para a agricultura.

É necessário maior investigação na evolução dos teores de azoto nos sistemas de aquacultura, assim como uma determinação da transformação da proteína presente na alimentação dos peixes até ao estado de azoto nítrico e a sua conservação enquanto tal nesses sistemas.

A vida microbiana e composição de elementos secundários não é quantificada nos sistemas de aquacultura, mas especula-se que estes tenham real impacte na utilização desta água em sistema agrícolas.

Novos produtos de alimentação dos peixes, nomeadamente a alimentação direta com fezes animais, poderá ser uma mais-valia na redução de custos nos encargos com a alimentação.

6.2. Vermicompostagem

A vermicompostagem, apesar de contar já com várias décadas de estudos científicos, continua muito atrasada na caracterização dos seus fenómenos.

A variabilidade da sua composição observada em vários estudos impulsiona a comunidade para um maior rigor e controlo das suas características, nomeadamente: caracterização das matérias-primas, confinamento do sistema, manejo e intervenção humana, quantidade de minhocas, tempo do processo, determinações analíticas, etc. A importância destas condições serem padronizadas e caracterizadas é fundamental para um maior rigor científico e segurança na comparação de dados.

A importância da macro e micro fauna, nomeadamente bactérias e fungos, está ainda pouco estudada, principalmente a sua capacidade de mitigar potenciais doenças e pragas agrícolas, através da aplicação direta de extrato de vermicomposto pela folhagem.

A otimização de um processo de vermicompostagem poderá levar a concentrações de macro e micronutrientes bastante elevadas, comparáveis com alguns adubos minerais.

6.3. Aquaponia

A Aquaponia começa a dar os primeiros passos no mundo científico. Os fenómenos de um sistema fechado de produção de peixes e produção vegetal ainda estão pouco caracterizados e estudados.

O conhecimento empírico está bastante desenvolvido, com manuais publicados difundido a conceção de sistemas aquapónicos já experimentados e testados. No entanto, este conhecimento tem que ser cientificamente desenvolvido para que possamos compreender a fundo o processo e evoluir na sua compreensão.

Alguns autores apontam rácios ideais de peixes por volume de água e por área de culturas vegetais instaladas (Bernstein, 2011; Nelson, 2008; FAO, 2015), no entanto é necessário muito mais estudo para o desenvolvimento de um rácio ideal entre estes elementos.

Os resíduos sólidos produzidos pelos peixes, muitas vezes deitados fora nos momentos de limpeza dos filtros, podem ser uma mais valia para a vermicompostagem já que carregam imensos elementos minerais. A própria ligação da vermicompostagem nas camas de hidroponia do sistema aquapónico tem sido experimentada, sem ainda resultados definitivos.

Estamos a dar os primeiros passos na compreensão de um sistemas holístico, muito estudo e muito desenvolvimento científico será ainda necessário para o desenvolvimento sustentável deste conceito.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ansari, A. A., Ismail, S. A., 2012. Earthworms and Vermiculture Biotechnology. Management of Organic Waste, Dr. Sunil Kumar Ed., p.87-96.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., Metzger, J. D., 2004. Influence of vermicomposto on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. Bioresource Technology 93, p. 145-153.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S., Byrne, R., 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant grow. European Journal of Soil Biology 42, p. S65-S69.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A., Metzger, J. D., 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresource Technology 75, p. 175-180.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C. A., Subler, S., Metzger, J.D., 2001. Pig manure vermicomposto as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. Biosource Technology 78, 2001. Pp 11-20.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N. Q., Metzger, J. D., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic waste on plant growth. Bioresource Technology 87, 2002. Pp. 7-14.
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J., 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analisis: Main issues on management and future challenges. Aquacultural Engineering 51 pp. 26-35.
- Bansal, S., Kapoor, K. K., 1999. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. Bioresource Technology 73, 2000. Pp. 95-98
- Bernstein, S., 2011. Aquaponic Gardening, a step-by-step guide to raising vegetables and fish together. New Society Publishers. Canadá.
- Capelle, R., 1961. Microdosage colorimetrique du bore en milieu aqueux, au moyen de reactifs a groupement azoique ou imine derives des acides H et K. Analytica Chimica Acta, 24, p. 555-572.
- Castilla, N., 2007. Invernaderos de Plástico – Tecnologia y manejo.
- Coleman, D. C., Crossley, D. A. Jr., Hendrix, P. F., 2004. Fundamentals of Soil Ecology. 2nd Edition. Elsevier Academic Press.

Darwin, C., 2009. The Formation of Vegetable Mould, Through the Action of Worms, with Observations on Their Habits. Fork. Press. Original ed. 1896.

Dominguez, J., 2011. Vermiculture technology: earthworms, organic waste, and environmental management. Cap. 5 -The Microbiology of Vermicomposting. Taylor & Francis Group, LLC.

Dominguez, J., Edwards, C. A., 2011a. Vermiculture technology: earthworms, organic waste, and environmental management. Cap. 2 - Relationships between Composting and Vermicomposting. Taylor & Francis Group, LLC.

Dominguez, J., Edwards, C. A., 2011b. Vermiculture technology: earthworms, organic waste, and environmental management. Cap. 3 - Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting. Taylor & Francis Group, LLC.

Edwards, C. A., Arancon, N. Q., 2009. The Science of Vermiculture: the use of earthworms in organic waste management. Soil Ecology Laboratory, The Ohio State University, Columbus, Ohio, U.S.A.

El-Sayed, A. M., 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* Aquaculture 179 pp. 149-168.

Egner, H., Riehn, H., Domingo, W., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Länbrukshögskolans Annaler 26: 199-215.

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., Hassan, A., 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. Bioresource Technology 101 pp. 15511-1517.

FAO, 1990. FAO Soiless Culture Publication 1990.

FAO, 2010. FAO fish Publication 2010.

FAO, 2012. FAO Fisheries & Aquaculture, Species Fact Sheets – *Oreochromis mossambicus*.

FAO, 2015. Small-scale Aquaponic Food Production – Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries & Aquaculture Technical Paper n.589.

Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination 246 pp. 147-156.

Horneck, D., Miller, R., 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. In Y. Kalra (ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Florida: CRC Press LLC. Pp. 75-83.

Houba V.J.G., Van der Lee J.J., Novozamsky I., Walinga I., 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi, part 5, soil analysis procedures. Wageningen Agricultural University, Wageningen.

IUSS Working Group WRB (2006) - World Reference Base for Soil Resources 2006, 2nd edition. Rome, Italy, FAO, 128 p. (World Soil Resources Reports N° 103).

Jones Jr., J. B., 2012. Plant Nutrition and Soil Fertility Manual. Second edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC.

Lagarda, M. M., Páez-Osuna, F., Esquer-Méndez, J. L., Guerrero-Monroy, I., Vivar A. R., Félix-Gastelum, R., 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. Aquaculture 366-367 pp. 76-84.

Landau, M., 1992. Introduction to Aquaculture. Jonh Wiley & Sons, Inc.

Lakanen, E., Ervio, R., 1971. Comparasion of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Finn 23: 223-232.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J. P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology 42, p. S3-S15.

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J., 2008. Comparison of effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. Chemosphere 72, 2008. Pp. 1013-1019.

Lourenço, N., 2014. Manual de Vermicompostagem e vermicultura para a agricultura orgânica. Publindústria, Edições técnicas.

Marti, B., Muñoz, R., 1957. Flame photometry. Elsevier Publishing Company, New York. pp 271.

Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Shneider, O., Blancheton, J.P., Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. Aquaculture Engineering 43 pp. 83-93.

Minnich, J., 1977. The earthworm Book. Rodale Press

- Montgomery, D. C. 1991. Design and Analysis of Experiments,. John Wiley and Sons Inc, New York, USA.
- Nelson, R. L., 2008. Aquaponic Food Production. First Edition. Published by Nelson and Pade, Inc.
- Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y., Kumari, U. R., 2007. An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. Bioresource Technology 99, 2008. Pp.. 1672-1681.
- Parker, Rick, 2012. Aquaculture Science 3rd edition. Delmar Cengage Learning Pub.
- Pramanik, P., Ghosh, G. K., Ghosal, P. K., Banik, P., 2006. Changes in organic – C, N, P and K and enzyme activities in vermicomposto of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. Bioresource Technology 98, 2007. Pp. 2485-2494.
- Queda, Cristina Cunha, 1999. Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Tese de Doutoramento em Engenharia Agro-Industrial. Lisboa
- Rad, F., Bozaoglu, S., Gözükar, S.E., Karahan, A., Kurt, G., 2006. Effects of different long-day photoperiods on somatic growth and gonadal development in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture 255 pp. 292-300.
- Rafiee, G., Saad, C. R., 2005. Nutrients cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) growth in a recirculating aquaculture system. Aquaculture 244 pp. 109-118.
- Rakocy, J. E., Hargreaves, J.A., 1993. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. In: Wan J.K. (Ed.), Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of a Conference, 21-23 June 1993, Sponake, WA, pp. 112-136.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., Losordo, T. M., 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics – Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center, n°454.
- Rapatsa, M.M., Moyo, N.A.G., 2013. Performance evaluation of chicken, cow and pig manure in the production of natural fish food in aquadams stocked with *oreochromis mossambicus*. Physics and Chemistry of the Earth 66. Pp. 68-74.
- Rijn, J., 1996. The potencial for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture – A review. Aquaculture 196 pp. 181-201.
- Ruppert, E.E., Fox, R.S., Barnes, R.D. 2004. Invertebrate Zoology. Seventh Edition. Thomson, Brooks/Cole.: vii-xvii, 1-963, I1-I26.

Santos, J. Q., 2015. Fertilização: fundamentos agroambientais da utilização de adubos e corretivos. Publiindústria.

Seawright, D. E., Stickney, R. R., Walker, R. B., 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture* 160 pp. 215-237.

Sikawa, D. C., Yakupitiyage, A., 2010. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias microcephalus* x *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural Water Management* 97 pp. 1317-1325.

Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhal, K., Chandran, V., Soni, B. K., 2010. Vermiculture Technology: Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin for Scientific Use of Earthworm in Sustainable Development Programs. *Scienti Research – Technology and Investment*, Pp. 155-172.

Souza, L.M., Castilhos, D.D., Morselli, T.B., Castilhos, R.M., 2006. Influência da aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo da alface. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v.12, n.4, p. 429-434.

Steffen, G. P., Antonioli, Z. I., Steffen Ricardo B.; Jacques, Rodrigo J., 2013. Importância Ecológica e Ambiental das Minhocas. *Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal*.

Strickland, J.H. and Parsons, T.R. 1965 – A manual of sea water analysis, with special reference to the more common micronutrients and to particulate organic material. *Fisheries Research Board of Canada*, Bull nº 125, 2^o edition, p.203

Tidwell, James H. 2012. *Aquaculture Production Systems*. Edited by James Tidwell. Published by John Wiley & Sons, Inc. Wiley-Blackwell. World Aquaculture Society.

Simard, J.J., 1993. Ammonium acetate – extractable elements. In *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers.

Yadav, A., Garg, V. K., 2010. Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 102, 2011. Pp. 2874-2880.

Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzimmons, K., Diana, J.S., 2010. Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis spp.*) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture* 298 pp. 226-238.

7.1. Multimédia

<http://www.sciencelearn.org.nz/Science-Stories/Earthworms/Charles-Darwin-and-earthworms>.

Consultado a 10 de Fevereiro de 2015.

http://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/Chancellor_Earthworms.html.

Consultado a 10 de Fevereiro de 2015.

<http://www.darwinfoundation.org/en/science-research/>.

Consultado a 10 de Fevereiro de 2015.

ANEXOS

Análises ao solo após ensaio

Amostra	pH	C.E.	M.O. (%)	NH4 (mg/kg)	NO3 (mg/kg)	P2O5 (mg/kg)	K (mg/Kg)	Na cmol(+)/kg	K cmol(+)/kg	Ca cmol(+)/kg	Mg cmol(+)/kg
1	4.80	0,201	1.00	3,9	<0,50	333,7	37	0,06	0,08	1,95	0,42
2	4.80	0,233	1,06	2,06	6,93	273,9	47	0,06	0,09	1,95	0,41
3	4.90	0,215	0,98	3,75	<0,50	312,1	40	0,04	0,08	1,99	0,44
4	4.80	0,232	1,39	3,71	<0,50	359,4	56	0,03	0,11	1,98	0,51
5	5.40	0,327	0,84	1,42	<0,50	367,2	66	0,67	0,12	2,34	0,65
6	5.70	0,284	0,9	2,53	<0,50	398,8	51	0,58	0,10	2,29	0,50
7	5.50	0,314	1,13	2,86	2,18	312,4	73	0,77	0,14	2,22	0,56
8	5.50	0,343	0,93	5,26	2,30	386,8	73	0,55	0,14	2,54	0,59
9	5.70	0,292	1,15	2,21	<0,50	434,1	61	0,57	0,11	2,51	0,61
10	5.80	0,319	1,14	3,19	2,55	417,2	60	0,68	0,12	2,84	0,66
11	5.80	0,294	1,01	3,01	0,79	396,7	62	0,52	0,11	2,24	0,55
12	5.80	0,287	1,11	2,06	0,64	433,2	49	0,68	0,09	2,79	0,60
13	6.20	0,249	1,04	2,45	2,21	417,2	45	0,55	0,10	2,47	0,60
14	6.10	0,277	1,30	5,64	0,74	456,0	50	0,71	0,11	3,17	0,78
15	6.10	0,240	1,11	1,6	<0,50	391,5	53	0,59	0,10	2,63	0,61
16	6.30	0,209	1,19	2,12	<0,50	363,4	46	0,63	0,10	2,90	0,70
17	6.60	0,310	1,00	1,99	2,21	441,4	51	0,76	0,09	2,30	0,68
18	6.80	0,287	1,17	2,04	2,42	338,3	50	0,80	0,10	2,33	0,60
19	6.50	0,306	1,03	3,06	1,8	481,6	52	0,89	0,11	2,61	0,70
20	6.60	0,286	1,11	2,52	2,9	473,2	53	0,84	0,10	2,80	0,65

Análise microelementos do solo após ensaio

Amostra	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	B mg/kg
1	6,01	67,04	11,70	6,60	0,25
2	5,32	55,24	9,68	4,76	0,18
3	5,77	65,52	12,60	8,93	0,17
4	4,97	48,82	9,94	5,27	0,13
5	5,66	55,00	10,59	6,80	0,39
6	5,51	59,36	11,73	6,97	0,43
7	5,55	58,37	11,66	7,94	0,49
8	6,67	65,59	13,03	7,76	0,37
9	6,29	67,15	12,23	8,70	0,36
10	6,53	76,92	13,67	7,83	0,48
11	6,23	67,72	13,06	9,54	0,55
12	5,62	62,44	10,97	7,74	0,52
13	5,14	57,09	10,27	7,54	0,44
14	5,66	73,88	15,03	8,29	0,41
15	5,33	66,09	11,10	7,65	0,32
16	5,99	75,01	13,52	9,97	0,43
17	6,20	70,04	11,97	8,12	0,47
18	6,74	79,76	12,8	9,18	0,35
19	7,50	92,44	14,22	9,83	0,48
20	6,25	76,54	13,94	7,87	0,57

Produção Vegetal

Modalidade	Peso ao corte gramas	Peso Seco gramas	Humidade %
1	278,4	29,2	89,51
2	228,2	24,2	89,40
3	244,7	25,3	89,66
4	257,2	26,7	89,62
5	302,6	25,2	91,67
6	338,8	28,1	91,71
7	324,6	26,5	91,84
8	292,2	22,8	92,20
9	329,5	25,4	92,29
10	332,9	26,0	92,19
11	303,1	23,8	92,15
12	319,9	23,9	92,53
13	287,7	24,7	91,41
14	285,8	24,0	91,60
15	285,6	26,7	90,65
16	313,6	25,3	91,93
17	309,8	25,9	91,64
18	317,2	26,5	91,65
19	328,5	26,4	91,96
20	311,1	25,8	91,71

Análises Matéria Vegetal Seca

Amostra	N mg/L	P mg/l	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Fe mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	Mn mg/L
1	97,08	23,89	19,755	185,685	86,420	31,350	2,3749	0,0928	1,4521	0,9963
2	85,12	22,29	15,505	190,670	60,795	23,700	3,1953	0,0894	1,7645	1,8332
3	89,08	22,50	18,115	199,665	96,755	34,550	2,2090	0,1843	1,3522	1,3697
4	98,25	24,48	20,915	213,245	104,765	36,850	1,8000	0,0917	1,3106	1,2191
5	137,58	27,35	167,740	254,425	88,030	36,275	3,3261	0,1227	1,3233	0,6170
6	124,01	28,96	159,400	239,650	87,130	37,830	2,4215	0,0906	1,1653	0,4090
7	103,31	22,75	174,605	227,690	68,695	31,775	2,2076	0,0683	1,1994	0,5240
8	131,25	28,03	172,995	237,690	84,375	35,085	2,7405	0,0953	1,2141	0,5742
9	112,53	23,66	167,760	238,670	85,315	36,250	2,8173	0,2754	1,4619	0,3799
10	116,26	24,00	169,445	241,345	74,650	33,160	2,4950	0,1007	1,0073	0,2315
11	113,68	24,65	168,470	233,530	80,535	36,695	2,6858	0,0737	1,0567	0,1996
12	100,87	23,15	158,550	244,325	79,875	33,700	2,1895	0,0986	1,1194	0,2411
13	115,39	24,46	159,265	258,495	82,435	31,980	2,5119	0,0808	0,8424	0,1518
14	99,53	23,44	165,810	278,470	75,125	28,390	2,1591	0,0683	0,8295	0,1762
15	85,58	20,51	131,300	219,375	73,460	27,475	2,0486	0,0321	0,7441	0,2987
16	106,89	24,11	160,880	261,505	74,450	29,740	2,2822	0,1180	0,8206	0,1618
17	102,48	22,96	191,240	232,035	66,520	34,650	2,2964	0,0822	0,7693	0,1949
18	98,26	21,80	182,465	220,065	64,540	32,800	1,7170	0,0934	0,6280	0,1768
19	117,38	24,95	207,440	250,915	65,470	32,205	1,9530	0,0874	0,7613	0,1159
20	88,69	20,88	210,750	251,300	65,940	30,950	2,2242	0,0687	0,7482	0,1381

Extrações

Amostra	Produção g/vaso	N mg/vaso	P mg/vaso	K mg/vaso	Ca mg/vaso	Mg mg/vaso	Na mg/vaso	Fe mg/vaso	Cu mg/vaso	Zn mg/vaso	Mn mg/vaso	B mg/vaso
1	29,2	510,2774	125,6873	592,8277	275,9090	100,0897	63,0709	7,5822	0,2963	4,6361	3,1808	0,5108
2	24,2	383,8120	100,6720	505,1137	161,0552	62,7849	41,0751	8,4648	0,2368	4,6744	4,8564	0,5828
3	25,3	422,5100	106,7660	552,0189	267,5010	95,5213	50,0830	6,1073	0,5095	3,7385	3,7868	0,4424
4	26,7	460,0410	114,8100	601,8012	295,6585	103,9948	59,0245	5,0798	0,2588	3,6987	3,4404	0,1975
5	25,2	544,3200	108,1080	693,7362	240,0299	98,9104	457,3737	9,0692	0,3346	3,6082	1,6824	1,1997
6	28,1	560,3140	130,6650	733,3295	266,6180	115,7599	487,7643	7,4098	0,2772	3,5658	1,2515	1,2546
7	26,5	524,4350	115,5400	666,8639	201,1956	93,0634	511,3873	6,4657	0,2000	3,5128	1,5347	0,7322
8	22,8	554,4960	118,3320	581,5358	206,4331	85,8395	423,2521	6,7049	0,2332	2,9704	1,4048	0,6851
9	25,4	558,5460	117,3962	656,7239	234,7526	99,7454	461,6081	7,7521	0,7578	4,0226	1,0453	0,6329
10	26,0	583,4681	120,4531	677,5694	209,5778	93,0958	475,7121	7,0046	0,2827	2,8280	0,6499	1,1230
11	23,8	485,9785	105,4482	594,4400	204,9982	93,4055	428,8327	6,8366	0,1876	2,6898	0,5081	1,0691
12	23,9	460,7523	105,7642	635,1281	207,6368	87,6039	412,1541	5,6917	0,2563	2,9099	0,6267	0,8838
13	24,7	501,6490	106,3596	699,7070	223,1391	86,5650	431,1064	6,7993	0,2187	2,2802	0,4109	0,7308
14	24,0	444,4545	104,7857	731,2923	197,2864	74,5552	435,4349	5,6700	0,1794	2,1784	0,4627	0,7616
15	26,7	431,4329	103,4112	660,4998	221,1752	82,7224	395,3214	6,1680	0,0966	2,2404	0,8993	0,4215
16	25,3	457,9602	103,2712	692,9280	197,2753	78,8041	426,2949	6,0473	0,3127	2,1744	0,4287	0,7419
17	25,9	509,6764	114,0104	649,4172	186,1755	96,9781	535,2405	6,4271	0,2301	2,1531	0,5455	0,8116
18	26,5	526,1646	116,5592	623,4469	182,8426	92,9228	516,9256	4,8643	0,2646	1,7791	0,5009	1,1049
19	26,4	596,2264	126,7925	703,6495	183,5997	90,3136	581,7310	5,4769	0,2451	2,1349	0,3250	1,0656
20	25,8	433,1686	102,0769	681,2588	178,7940	83,8500	571,2120	6,0297	0,1862	2,0283	0,3744	1,0302